



EESTI MAAÜLIKOOL

Tartu Tehnikakolledž

Richard Org

**REKLAAMMATERJALE JAGAVA
ROBOTMANIPULAATORI KONSTRUEERIMINE
CONSTRUCTION OF ROBOT MANIPULATOR FOR
DISTRIBUTING ADVERTISEMENT MATERIALS**

Rakenduskõrghariduse lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendajad: Kaarel Soots, PhD

Erkki Jõgi, MSc

Tartu 2018



Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Richard Org		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: Reklaammaterjale jagava robotmanipulaatori konstrueerimine			
Lehekülgi: 96	Jooniseid: 22	Tabeleid: 5	Lisasid: 5
<p>Osakond:</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond: 4.13. Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia</p> <p>CERC S-i kood: T125 Robotika</p> <p>Juhendajad: Kaarel Soots, Erkki Jõgi</p> <p>Kaitsmiskoht ja –aasta: Tartu, 2918</p>			
<p>Antud lõputöö projekt baseerub ideel luua tehnika valdkonna ettevõtetele ja haridusasutustele reklaammaterjale (visiitkaardid, flaiidid jne) jagav robotmanipulaator, mis täidaks näiteks ühe teenindaja rolli ja oleks ka oma olemuselt huvi pakkuv ja silmapaistev, kuid samas oleks konstruktsioonilt lihtne. Lõputöös antakse ülevaade sarnastest süsteemidest, kirjeldatakse selle süsteemi projekteerimist, konstrueerimist, tehnilisi jooniseid, elektriskeeme ja programme. Lisaks kirjeldatakse konstrueeritud robotmanipulaatori katsetuste tulemusi.</p>			
<p>Märksõnad: Servomootoriga manipulaator, reklaammaterjalide jagaja, ultraheli andurid, 3D printimine.</p>			



Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional Higher Education Thesis	
Author: Richard Org		Curriculum: Technotronics	
Title: Construction of robot manipulator for distributing advertisement materials			
Pages: 96	Figures: 22	Tables: 5	Appendixes: 5
Department: Field of research: 4.13. Mechanical Engineering, Automation Technology and Manufacturing Technology CERC S code: T125 Robotics Supervisors: Kaarel Soots, Erkki Jõgi Place and date: Tartu, 2918			
This research project is based on the idea to create a simple robot manipulator for advertisement material distributing purposes for enterprises and educational institutions in technology field. This system would indirectly fulfill the role of a tender in different conventions and fairs. In this research an overview of similar systems is given and a descripton of designing, constructing, technical drawnings, electrical scheme and programs is given. In addition a description of constructed robot manipulator test results is given.			
Keywords: Servo motors manipulator, advertisement distributor, sonic-sensors, 3D printing.			

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	7
1. VALDKONNA ÜLEVAADE	9
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	12
2.1. Mehaanika	12
2.1.1. Liigendid.....	13
2.1.2. Jõukomponendid.....	18
2.2. Elektroonika	21
2.2.1 Trükkplaat.....	25
2.3. Tarkvara.....	27
3. LOODUD SÜSTEEMI ÜLEVAADE	31
3.1. Mehaanika lõplik lahendus ja arutelu	31
3.2. Elektroonika lõplik lahendus ja arutelu	35
3.3. Prototüübi eelarve.....	37
KOKKUVÕTE	39
KASUTATUD KIRJANDUS	40
LISAD	42
LISA A	43
LISA B.....	79
LISA C.....	87
LISA D	90

TÄHISED JA LÜHENDID

<i>ABS</i>	–	<i>Acrylonitrile butadiene styrene</i> , akrüülnitriilbutadieenstüreen
<i>ADC</i>	–	<i>Analog-digital converter</i> , analoog-digitaal muundur
<i>CAD</i>	–	<i>Computer aided design</i> , raalprojekteerimise tarkvara
D_2	–	Kesktelje rihmaratta diameeter, m
d_1	–	Samm-mootori rihmaratta diameeter, m
<i>FDM</i>	–	<i>Fused deposition modeling</i> , sulatatud täitematerjaliga tootmine
<i>FFF</i>	–	<i>Fused filament fabrication</i> , sulatatud täitematerjaliga tootmine
F_{kr}	–	Käsivarre rasksujõud, N
g	–	Raskuskiirendus konstant, $9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
<i>GND</i>	–	<i>Ground</i> , maandus
<i>HWB</i>	–	<i>Hardware bootloader</i> , riistvara käivitusrežiim
I_{LMout}	–	Pingeregulaatori väljund vool, A
i_{δ}	–	Õlaliigendi hammasrataste ülekandearv
L	–	Kesktelje ja samm-mootori rihmarataste vaheline kaugus, m
<i>LED</i>	–	<i>Light-emitting diode</i> , valgusdiod
l_{max}	–	Käsivarre maksimaalne pikkus, m
l_r	–	Kesktelje ülekande hammasrihma pikkus, m
l_{uh}	–	Objekti kaugus ultraheli andurist, cm
<i>MCU</i>	–	<i>Microcontroller unit</i> , mikrokontroller
m_{kr}	–	Käsivarre mass, kg
M_{mg}	–	Servomootori MG966R jõumoment, N·m
M_{δ}	–	Käsivarre poolt tekitatud jõumoment õlaliigendis, N·m
$M_{\delta v}$	–	Servomootori poolt tekitatud vastumoment õlaliigendis, N·m
<i>OCR</i>	–	<i>Output Compare Register</i> , väljundi kontroll register
P_{LM}	–	Pingeregulaatori väljundvõimsus, W
P_{PSU}	–	AC/DC muunduri võimsus, W
<i>PSU</i>	–	<i>Power supply unit</i> , toiteplokk
<i>PWM</i>	–	<i>Pulse-width modulation</i> , pulsilaiusmodulatsioon

U_{LMout}	–	Pingeregulaatori väljundpinge, V
USB	–	<i>Universal Serial Bus</i> , universaalne jadasiin
SMD	–	<i>Surface-mount device</i> , pindjoote seade
$TCCR$	–	<i>Timer/Counter Control Register</i> , taimer/loendur kontroll register
T_{uh}	–	Sisendviigu kõrgel oleku kestvus e. heli liikumise aeg, μs
VDC	–	<i>Direct current voltage</i> , alalispinge
v_h	–	Heli kiirus, $m \cdot s^{-1}$
α_3	–	Samm-mootori rihmaratta haardenurk
β_3	–	Kesktelje rihmaratta haardenurk

SISSEJUHATUS

Robotmanipulaatoreid on erinevatel eesmärkidel juba aastakümneid kasutatud. Reklaammaterjalide jagamiseks kasutatakse tavaliselt laialdasema kasutusvaldkonnaga robotmanipulaatoreid, mille puhul kasutatakse ära roboti võimekust tõsta objekti punktist A punkti B. Objektiks kasutatakse näiteks visiitkaarti või flaierit. Tööstusroboteid pole otstarbekas ainult reklaammaterjalide jagamiseks kasutada, sest tegu on siiski tööstuslikeks eesmärkideks loodud robotitega.

Antud töö käsitleb reklaammaterjale jagava robotmanipulaatori konstrueerimist. Töös on välja toodud projekti eesmärgid ja ülesanded. Lühidalt antakse ülevaade robotmanipulaatoritest ning nende kasutusvaldkondadest. Tuuakse välja reklaammaterjale jagava robotmanipulaatori nõuded ning kirjeldatakse tarkvaraliste ja riistvaraliste lahenduste sobivust ja antakse ülevaade loodud süsteemist.

Töö eesmärgiks on konstrueerida reklaammaterjale jagav robotmanipulaator, mis suudab mööduvate inimeste liikumisega oma ülakeha kaasa pöörata, võtta enda taskust flaier või visiitkaart ja selle inimesele ulatada. Lisaks peab robot suutma tuvastada reklaammaterjali haaratsi vahelt eemaldamist ja oma võtma taskust uue reklaammaterjali. Lihtsustamaks süsteemi arendamist ja prototüüpimist, peavad enamus mehaanilisi komponente olema 3D prinditavad. Robotit saaks väliselt kujundada mis iganes ettevõtte värvidesse ning messidel ja näitustel annaks seda tüüpi kabiini teenindaja väga palju lisa reklaamväärtust. Roboti enda projektsioon peab olema küllaltki lihtne, et vähemalt juhendi abiga oskaks igaüks seda kokku panna.

Käesoleva lõputöö eesmärgi saavutamiseks püstitati järgmised ülesanded:

1. Koostada ülevaade olemasolevatest sarnase otstarbega robotmanipulaatoritest.
2. Robotmanipulaatori mehaanilise osa projekteerimine kere ülaosa pööramise võimaluse ja reklaammaterjalide inimestele ulatamise võimekusega.
3. Robotmanipulaatori elektriosa projekteerimine inimese liikumissuuna tuvastamise funktsiooniga ja reklaammaterjalide eemaldamise tuvastusvõimekusega.

4. 3D printida mehaaniline osa.
5. Konstrueerida robotmanipulaator.
6. Koostada programm ja testida seda trükkplaadil.
7. Testida roboti funktsionaalsust.

Eesmärgi konkreetsus annab võimaluse luua midagi lihtsat ja odavat, kuid samas ka midagi efektset ja praktilist. See tähendab, et messidel ja konverentsidel ei pea ettevõtted oma kabiini elustamiseks kasutama kalleid tööstusroboteid, vaid saab ka lihtsamalt ja odavamalt seda tehtud ja efekt võib suhteliselt samaks jääda.

1. VALDKONNA ÜLEVAADE

Eesti keele seletava sõnaraamatu definitsiooni kohaselt on robot ümberprogrammeeritav isetoimiv masin, mida kasutatakse inimese liikumist, tajumist ja mõtlemist asendavates töödes [1]. Selle kõrvale on seletavas sõnaraamatus manipulaator defineeritud kui inimkätt asendav seade esemete käsitlemiseks [2]. Need kaks mõistet kokku pannes saame robotmanipulaatori, mis on ümberprogrammeeritav isetoimiv masin esemete käsitlemiseks.

Robotmanipulaatoreid võib tänapäeval leida igas eluvaldkonnas, mille järgi on võimalik neid klassifitseerida. Neid kasutatakse nii masina-, pakendi-, toidu-, elektroonika- ja sõjatööstuses, veel võib neid leida ka meelelahutuses, teeninduses, meditsiinis ja hariduses. Tänapäeval on robotmanipulaatorid ühel või teisel kujul esindatud peaaegu igas eluvaldkonnas. Lisaks kasutusvaldkonna järgi klassifitseerimisele saab robotmanipulaatoreid jaotada ka korpuse tüübi järgi (pehme/kõva), juhtmeetodi järgi (autonoomne/mitte-autonoomne), funktsionaalsuse järgi (keevitus/sorteerimine/pakkimine, jne), kui ka välimuse järgi (humanoid/mitte humanoid). Antud töö baseerub ka humanoidroboti põhimõttel (joonis 1.1), ehk siis loodav robotmanipulaator imiteerib inimkeha, inimskeletti või inimliigutusi [3]. Vastavalt selle järgi tulenevad ka antud töös loodava robotmanipulaatori liigendite ja varraste nimetused (õlaliigend, küünarliigend, käsivars, küünarvars, õlavars, jne).



Joonis 1.1. Toyota toodetud humanoid robot T-HR3 [4].

Enamjaolt luuakse robotmanipulaatoreid eesmärgiga asendada inimesi töö tegemisel või tegemaks tööd tingimustes ja kohtades, kuhu inimesed ei pääse või pole võimelised tööd tegema. Ühed laialdasemalt levinud robotmanipulaatorid on nõ robotkäed, mida kasutatakse automatiseeritud tootmisliinidel (joonis 1.2), eelkõige masinate või muude detailide monteerimisel. Tänapäeval automatiseeritud tootmisliinide puhul üritatakse tihtipeale saavutada täielik autonoomsus, et toode valmiks algusest lõpuni ilma inimsekkumiseta.



Joonis 1.2. Tööstuslik robotmanipulaator FANUC R-2000iB/125L [4].

Täies mahus automatiseeritud tootmisliine silmas pidades on märgata, et robotid tõrjuvad inimesed tööturult eemale [6]. Diplomitöö tulemuse eesmärgiks ei ole inimese asendamine messidel ja konverentsidel, vaid just lihtsustamaks töötajatel oma ettevõtet või haridusasutust esindada ja eristuda teistest. Näiteks kui töötaja on hõivatud ühe kliendiga, saab robot ülejäänud möödujatele jätkata reklaammaterjalide jagamist.

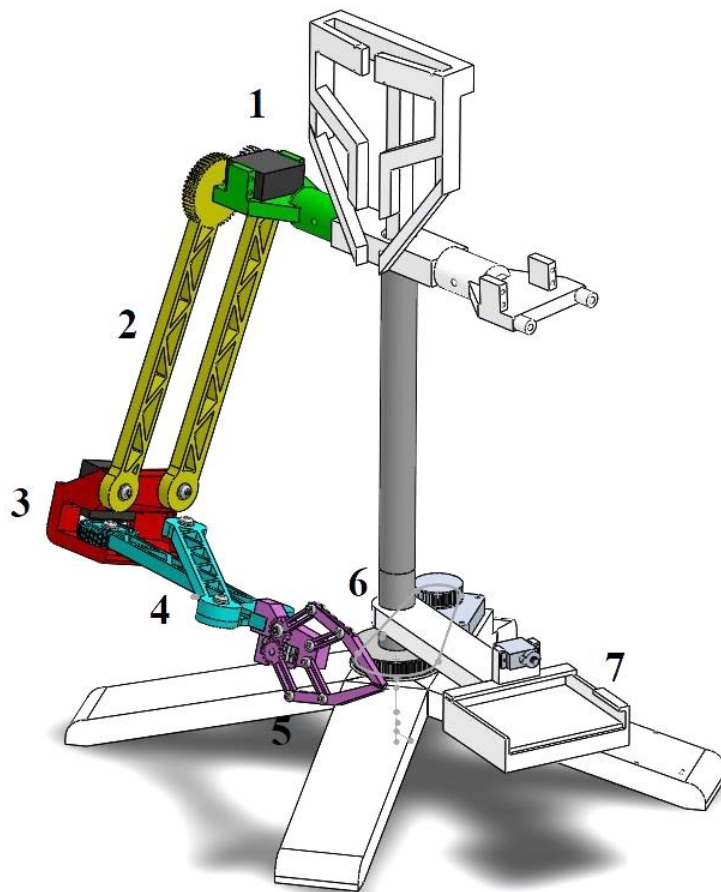
Kuna seni reklaammaterjalide jagamise otstarbel kasutatavad robotid on enamjaolt multifunktsionaalsed ja algupäraselt mõeldud tööstuslikel, meditsiinilistel või hariduslikel eesmärkidel kasutamiseks, siis leidub väga vähe roboteid, mis on loodud konkreetselt selliseks eesmärgiks. Sellest võib ka järeldada, et sellise seadme turustamine on lihtsustatud.

Vaadates hetkeseisu reklaamrobotite turul, jäävad põhiliselt silma keerukad humanoidrobotid, nagu näiteks Alfa Roboticsi poolt pakutav robot KIKI või Honda poolt toodetav robot Asimo, millest viimane on mitme-otstarbeline robot. Vastukaaluks keerulistele ja kallitele süsteemidele võib reklaamrobotite turult leida ka lihtsamaid mehaanilisi süsteeme, millel puudub inimese liikumise jälgimine, päästiksüdmustele reageerimine ja üldine tagasiside süsteem.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Mehaanika

Seadme erinevate liigendite kirjeldamiseks ja lahti seletamiseks on autor koostanud robotmanipulaatori mehaanika koostuskeemi (joonis 2.1), kus on ära märgitud erinevate liigendite ja varraste nimetused ja paiknemised. Seadme mehaaniline osa on projekteeritud CAD tarkvaras *Solidworks2017*.



Joonis 2.1. Robotmanipulaatori SolidWorks mudel. Joonise tähised: 1 – õlaliigend; 2 – õlavars; 3 – küünarliigend; 4 – küünarvars; 5 – haarats; 6 – kesktelg; 7 – kaarditasku.

Robotmanipulaatori käsivarre liigendite liigutamiseks on valitud servomootorid, kuna neid saab suure täpsusega ja lihtsalt kontrollida, ja kuna servomootoritel on suhteliselt suur jõumoment. Roboti ülakeha keeramiseks ümber kesktelje on kasutatud samm-mootorit.

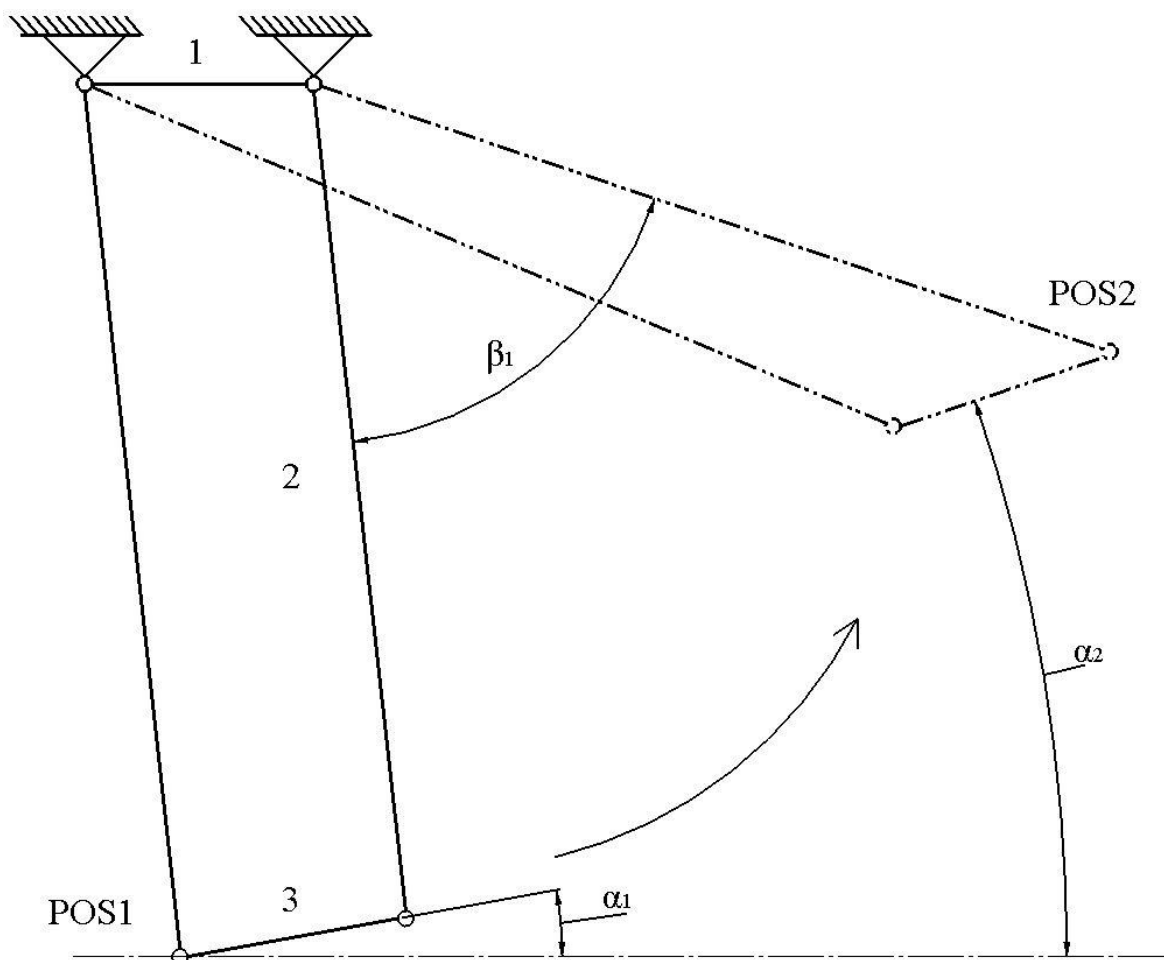
Kuna autor on valinud detailide tootmiseks 3D printimise, eesmärgiga lihtsustada prototüüpimise protsessi, pidi ka manipulaatori projekteerimisel arvestama nii 3D prinditavusega, kui ka liigendites rakenduvate jõukomponentidega. Ehk siis autor pidi veenduma, et detailid mahuksid 3D printerisse ja et detailidel oleks mingi sile pind, mille pealt 3D printer saaks detaili printimist alustada. Detailide printimiseks kasutatavad printerid (Stratsys Uprint SE plus, Ultimaker 2, Ultimaker 3) on võimelised printima ABS materjali elastsusmooduliga 1681,5 MPa [10], mis on autori hinnangul piisav antud eesmärkide täitmiseks.

Liigendite liigutamiseks mõeldud servomootorite valikul oli määravaks teguriks liigendites rakenduv jõud. Eesmärgiga hoida liigendites rakenduvad jõukomponendid võimalikult madalal ja sellest tulenevalt just liigendite massi madalal, projekteeris autor vajalike liigutuste saavutamiseks liht-lahendusega ja kerged varbmehhanismid.

2.1.1. Liigendid

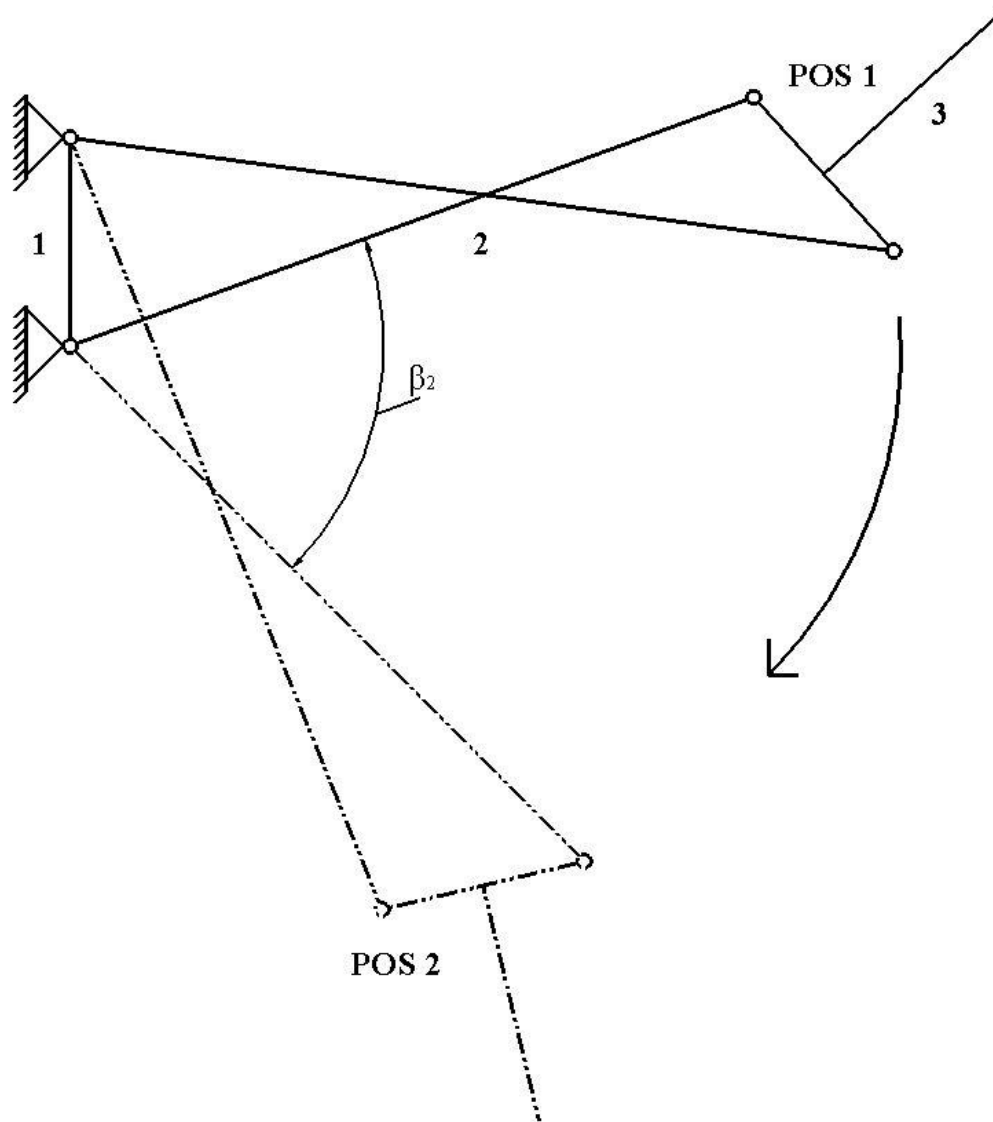
Õlavarre ja õlaliigendi projekteerimisel oli mõistlik kasutada paralleelsete varraste lahendust. See lahendus võimaldas hoida küünarliigendi nurga muutu võimalikult minimaalsena, et tagada haaratsi korrektne paiknemine kaarditasku suhtes ja et väljasirutatud asendis ulataks käsivars võimalikult kaugemale. Õlavarre liikumise eesmärk on käsivarre ja haaratsi tõstmine materjali haaramise positsioonist materjali inimesele ulatamise positsioonile.

Joonisel 2.2 on näha, et õlavarre liikumisega $\beta_1 = 65^\circ$ oli küünarliigendi nurga muutus maapinna suhtes algnurgast α_1 lõppnurgani α_2 $8,54^\circ$, mis on sobilik antud projekti jaoks. Õlavarre mehhanismi skeemil on õlaliigend kuvatud küll horisontaalasendis, aga lõplikus projektis on õlaliigendi asendi nurk reguleeritav vastavalt vajadusele. Õlaliigendis kasutatav hammasülekanne servomootori ja õlavarre vahel on suhtega 2:5 eesmärgiga tagada piisavalt suur jõuülekanne servomootorilt õlavarre juhtvardale.



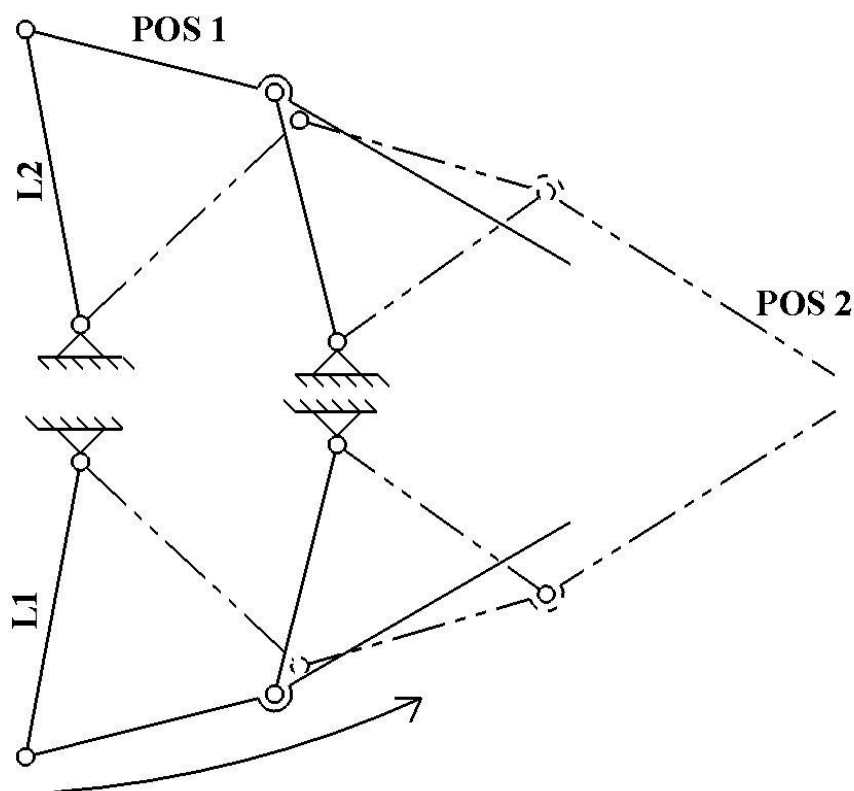
Joonis 2.2. Õlavarre mehhanismi siirete plaan kahes eri asendis paremalt vaates. Joonise tähised: 1 – õlaliigend; 2 – õlavars; 3 – küünarliigend; $\alpha_1 = 10,24^\circ$; $\alpha_2 = 18,78^\circ$; $\beta_1 = 65^\circ$; POS1 – algasend; POS2 – lõppasend; noolega liikumise suund.

Käsivarres kasutatud ristuvate varraste mehhanism tagab haaratsi liikumise robotmanipulaatorist eenduvas suunas kui on toimumas robotkäe välja sirutamine, nagu on ära toodud käsivarre mehhanismi kahe asendi siirete plaani joonisel 2.3. Joonisel on näha, et käsivarre algasendis on haarats suunatud robotmanipulaatori suunas ja käsivarre lõppasendis on haarats suunatud robotmanipulaatorist eemale ehk mööduva inimese suunas. Noolega on märgitud käsivarre liikumise suund algasendist lõppasendisse. Kuna küünarvarre liikumine on püsivalt horisontaalne maapinnaga ja sellest tulenevalt ka hammasülekandes rakenduvad jõukomponendid väiksemad, siis on küünarliigendis projekteeritud hammasülekande suhteks servomootori ja küünarvarre vahel 1:2.



Joonis 2.3. Robotmanipulaatori käsivarre mehhanismi siirete plaan kahe eri asendis puhul. Joonise tähised: 1 – küünarliigend; 2 – küünarvars; 3 – haarats; POS 1 – algasend; POS 2 – lõppasend; $\beta_2 = 65^\circ$; noolega märgitud liikumise suund.

Haaratsi projekteerimiseks töötati läbi erinevatest kirjandusallikatest leitavad lahendused leidmaks sobivaimat. Haaratsi eesmärk on reklaammaterjalide taskust materjal välja tõmmata ja seejärel see inimesele ulatada, lisaks sellele ka tuvastada reklaammaterjalide eemaldamise haaratsi näppude vahelt. Selle eesmärgi saavutamiseks sai väljatöötatud lihtne haaratsi mehhanism, mille lihtsustatud skeem ja siirded kahes erinevas asendis on toodud joonisel 2.4.

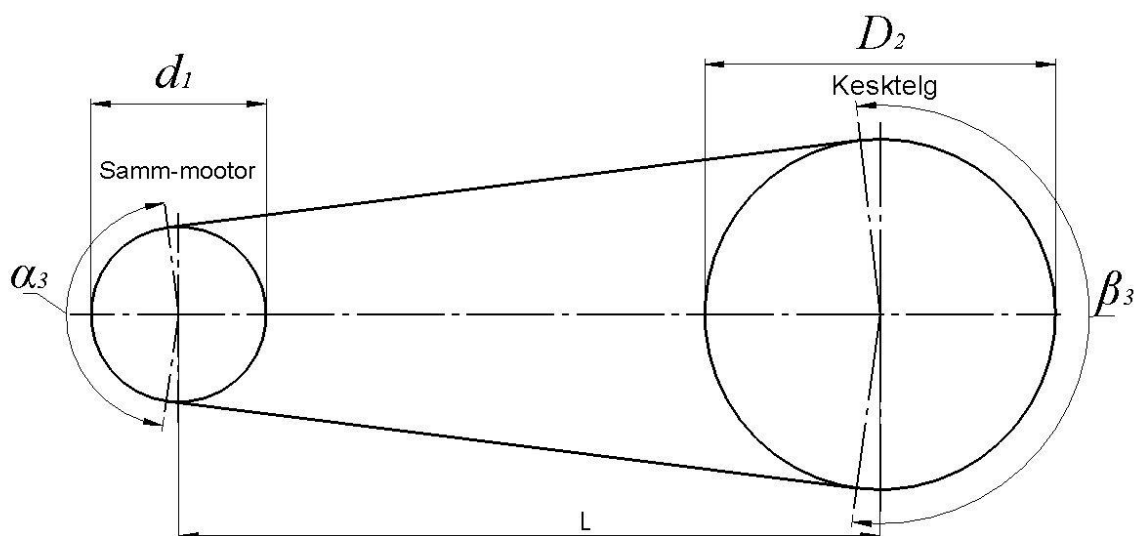


Joonis 2.4. Haaratsi mehhanismi siirded kahes eri asendis. Joonise tähised: L1 – alglüli; L2 – kaaslüli; POS 1 – algasend; POS 2 – lõppasend; noolega märgitud liikumise suund.

Haaratsi alglüli ja sellega kohakuti olev kaaslüli on omavahel ühenduses läbi hammasülekande suhtega 1:1, mis tagab haaratsi mõlema poole samaaegse liikumise ja haaratsi otsade kohakuti paiknemise reklaammaterjalide haaramise hetkel ehk lõppasendis.

Liigendite hammasülekannetes kasutatavad hammasrattad on projekteeritud kasutatdes SolidWorks keskkonna ISO standardi järgi hammasrataste loomise tööriista. Kõik hammasrattad on silinderhammasrattad. Hammasrataste kõik tehnilised näitajad (moodul, hammaste arv, peade-, kesk- ja jalgade ringjoone raadiused) arvutas välja SolidWorks tarkvara, selle tõttu ei ole autor hakanud neid arvutusi antud töös välja tooma.

Selleks, et robotmanipulaator oleks võimeline mööduva inimesega ennast kaasa keerama, pidi see ole võimeline keerama ümber oma vertikaalse kesktelje. Selle eesmärgi täitmiseks on vertikaalse kesktelje ja aluse vahelisse ühendusse projekteeritud avatud hammasrihm e. sünkroonrihm ülekandesuhtega 1:2 (vt joonis 2.5).



Joonis 2.5. Kesktelje keeramiseks rihmülekanne samm-mootori ja telje vahel. Joonise tähised: $d_1 = 30$ mm; $D_2 = 60$ mm; $L = 120$ mm; α_3 – samm-mootori rihmaratta haardenurk; β_3 – kesktelje rihmaratta haardenurk.

Kuna samm-mootori ja kesktelje rihmaratta omavaheline kaugus sõltus projekteeritud roboti alusest, siis oli vaja välja arvutada samm-mootori rihmaratta haardenurk, et veenduda rihmarataste valitud kauguse sobilikkuses. Samm-mootori rihmaratta haardenurk on leitav valemiga [6]

$$\alpha_3 = 180^\circ - 60 \frac{D_2 - d_1}{L}, \quad (2.1)$$

kus α on haardenurk kraadides;

D_2 – kesktelje rihmaratta diameeter mm;

d_1 – samm-mootori rihmaratta diameeter mm;

L – rihmarataste vaheline kaugus mm.

Valemi 2.1 järgi on samm-mootori haardenurk $\alpha_3 = 165^\circ$. Selle järgi saab arvutada ka kesktelje rihmaratta haardenurga valemiga

$$\beta_3 = 360^\circ - \alpha_3, \quad (2.2)$$

kus β_3 on kesktelje rihmaratta haardenurk kraadides.

Valemi 2.2 järgi arvutatud kesktelje rihmaratta haardenurk $\beta = 195^\circ$.

Lisaks haardenurkadele kuulub rihmülekande geomeetriliste parameetrite hulka ka rihma pikkus, mis on leitav valemiga [6]

$$l_r = 2L + \frac{\pi \cdot (D_1 + d_1)}{2} + \frac{(D_1 - d_1)}{4L}, \quad (2.3)$$

kus l_r on rihma pikkus mm.

Valemi 2.3 järgi arvutades saame,

$$l_r = 2 \cdot 120 + \frac{\pi \cdot (60 + 30)}{2} + \frac{(60 - 30)}{4 \cdot 120}$$

et sobilik rihma pikkus l_r on 383,25 mm. Kuna tegu on hammasrihmaga ja rihma haardenurk samm-mootori rihmaratta peal on piisavalt suur, siis ei pea rihma pingutamist valemite arvestama [7]. Lisaks ei ole autor arvutustes arvestanud rihmarataste pöörlemiskiirustega, kuna antud projekti raames on rihmarataste pöörlemiskiirused väikesed, et need avaldaksid rihmülekandele mingit tähelepanuväärset mõju (kesktelje rihmaratta liikumise piirid on 0° kuni 180° kiirusel kuni $1,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$).

2.1.2. Jõukomponendid

Nagu eelnevalt mainitud, oli liigendites rakenduv jõud vajalik arvutada servomootorite valimiseks. Maksimaalse jõumomendi arvutusteks oli vaja teada liigendite massi ja nende pikkusi maksimaalses (välja sirutatud) asendis. Liigendite massi ja välja sirutatud käsivarre maksimaalse pikkuse sai eelnevalt määrata SolidWorks 2017 keskkonnas ja tulemused on toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. Liigendite massid koos servomootoritega ja maksimaalsed pikkused

Liigend	Liikuvate lülide mass (g)	Maksimaalne pikkus (mm)
Haarats	12,30	104,15
Küünarvars + haarats	137,10	356,75
Õlavars + küünarvars + haarats	392,85	511,89

Tabelis 2.1 olevatest andmetest saab järeldada, et kõige suurem jõumoment on õlaliigendis. Sellest tulenevalt oli servomootorite määramisel kõige suurem roll õlaliigendis rakenduval jõumomendil. Liigendi enda massist tulenevat raskusjõudu kirjeldab valem

$$F_{kr} = g \cdot m_{kv}, \quad (2.4)$$

kus F_{kr} on käsivarre raskusest tulenev maapinna poole mõjuv jõud N;

g – raskuskiirendus $9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

m_{kv} – käsivarre mass kg.

Arvestades liigendi massi poolt tulenevat raskusjõudu kui ühtlast koormusejaotust kogu käsivarre ulatuses ja selle jõu mõjupunktiks liigendi keskpunkti, saame arvutada käsivarre enda massi poolt tekitatud jõumomendi õlaliigendis järgneva valemiga [8]

$$M_{\bar{o}} = F_{kr} \cdot \frac{l_{\max}}{2}, \quad (2.5)$$

kus $M_{\bar{o}}$ on õlaliigendis mõjuv jõumoment $\text{N} \cdot \text{m}$;

l_{\max} – liigendi maksimaalne pikkus m.

Eelpool toodud valemite abil saame arvutada, et kogu käsivarres maapinna suunas mõjuv jõud on 3,85 N. Sellest edasi saame arvutada, et õlaliigendis mõjuv jõumoment kogu käsivarre poolt maksimaalses asendis $M_{\bar{o}} = 0,99 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Kuna servomootorite andmelehtedel toodud mootorite jõumomendi näitajad ei ole koheselt mõistetavates ühikutes, siis on autor toonud kasutatavate servomootorite tehnilised parameetrid tabelis 2.2.

Tabel 2.2. Servomootorite tehnilised parameetrid

Mootori mark	SG90	MG966R
Pöördemoment (N·m)	0,2	0,9
Maksimaalne nurkkiirus tühi-koormusel (rad · s ⁻¹)	10,47	6,21
Toitepinge (V)	4,8 - 6	4,8 - 6

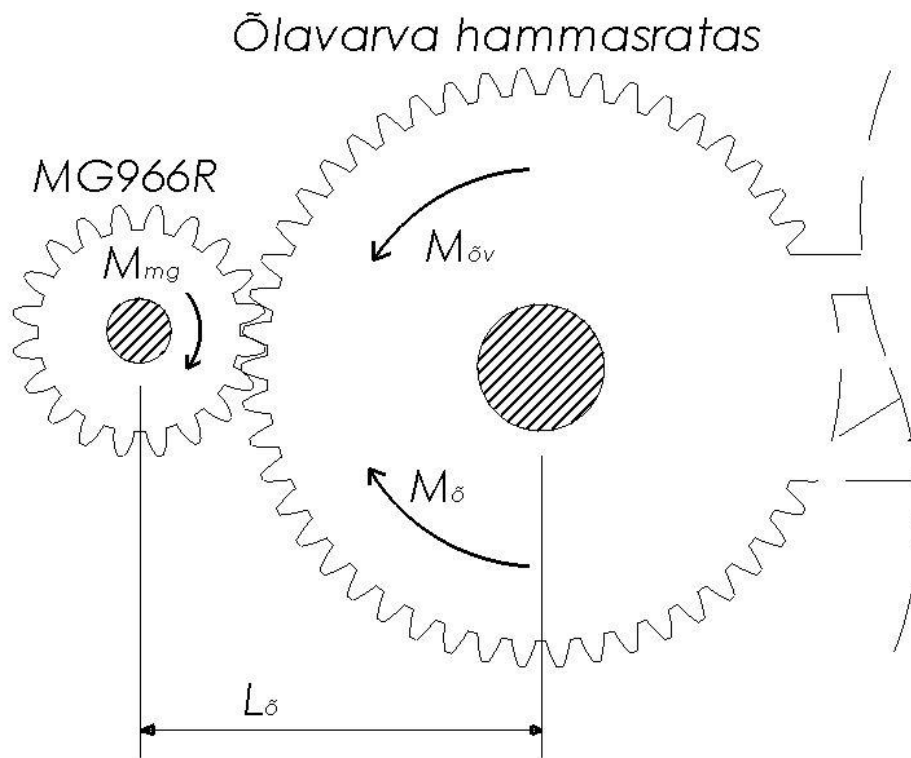
Servomootorite valikuks sai arvestatud, et ülekatte koefitsient oleks vähemalt kahe kordne, eesmärgiga katta ära ka liigendites mõjuvate hõõrdejõududest tulenev takistus ja välistamaks liigendite ebapiisava liikumiskiiruse. Nendele tingimustele sobis kõige paremini MG996R servomootor, mille moment toitepingel 4,8 V on 0,9 N·m ja pingel 6 V 1,1 N·m [4]. Mis tähendab, et 5 V toitepinge juures on servomootori jõumoment 0,95 N·m. Õlaliigendis kasutatavate hammasrataste ülekandearv on 2,5. Selle abil saame arvutada servomootori poolt tekitatava vastumomendi õleliigendis $M_{\delta v}$ valemiga [8]

$$M_{\delta v} = i_{\delta} \cdot M_{mg}, \quad (2.6)$$

kus i_{δ} on õlaliigendi hammasülekande ülekande arv 2,5;

M_{mg} – servomootor MG966R jõumoment 5 V toitepingel 0,95 N·m.

Valemi 2.6 järgi arvutades saame, et servomootor MG966R suudab projekteeritud hammasülekandes õlaliigendis tekitada vastumomendi väärtusega 2,36 N·m (joonis 2.6). See ületab käsivarre enda poolt tekitatud momendi 2,4 korda, mis tähendab, et nõutava ülekatte koefitsiendi tingimus on täidetud.

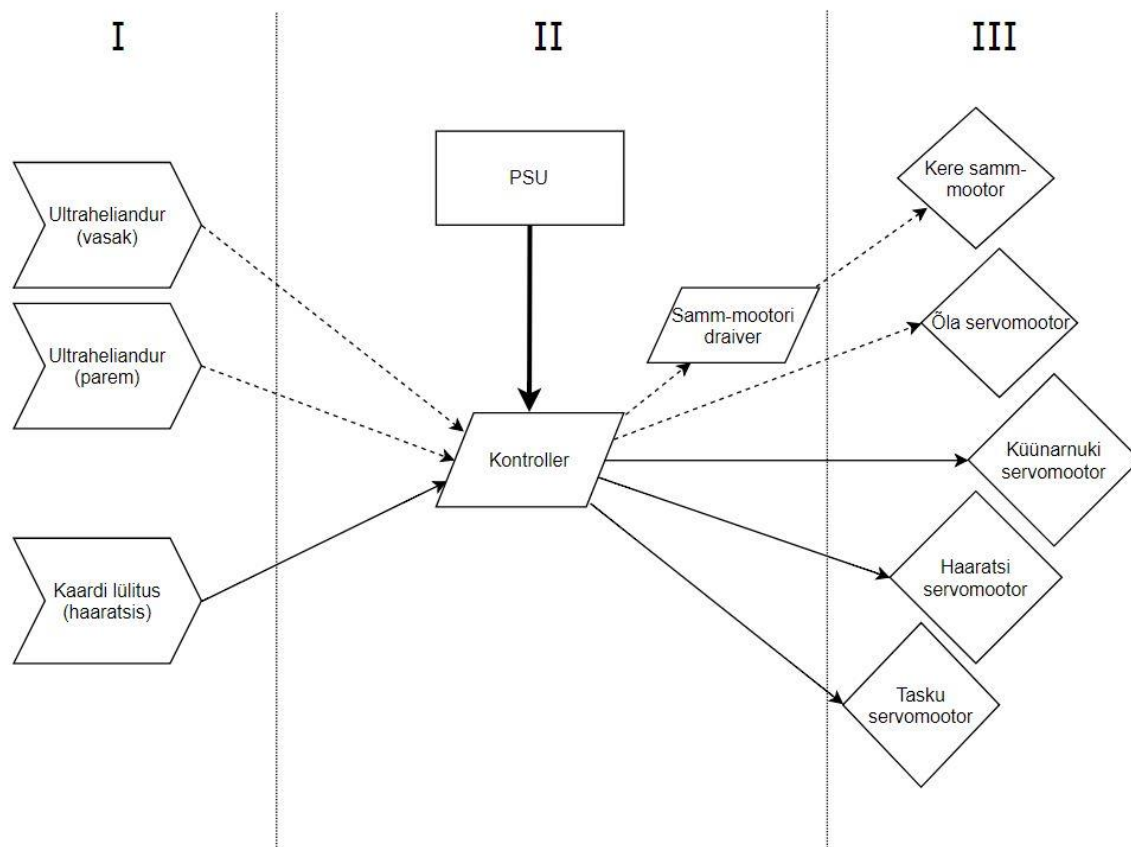


Joonis 2.6. Hammasülekanne õlaliigendis. Tähisted: M_{mg} – servomootori MG966R jõumoment; $M_{\delta v}$ – servomootori poolt tekitatav vastumoment õlaliigendis; M_{δ} – käsivarre poolt tekitatav moment õlaliigendis; õlaliigendi hammasülekanne telgede vaheline kaugus $L_{\delta} = 3,50$ cm.

Joonisel 2.6 on ka näha, et õlavarre ülestõstmiseks peab õlaliigendi servomootor liikuma päripäeva.

2.2. Elektroonika

Üldise ülevaate saamiseks vajaminevatest komponentidest, koostas autor elektrisüsteemi põhimõtteskeemi (joonis 2.7). Skeemilt on näha, et süsteemi töötamiseks on vaja kahte ultraheliandurit, millega saada tagasiside mööduva inimese asukohast. Vastavalt ultrahelianduritest tulenevast informatsioonist annab kontrolleri käsklusi samm-mootori draiverile kere samm-mootori suuna ja sammude arvu osas.



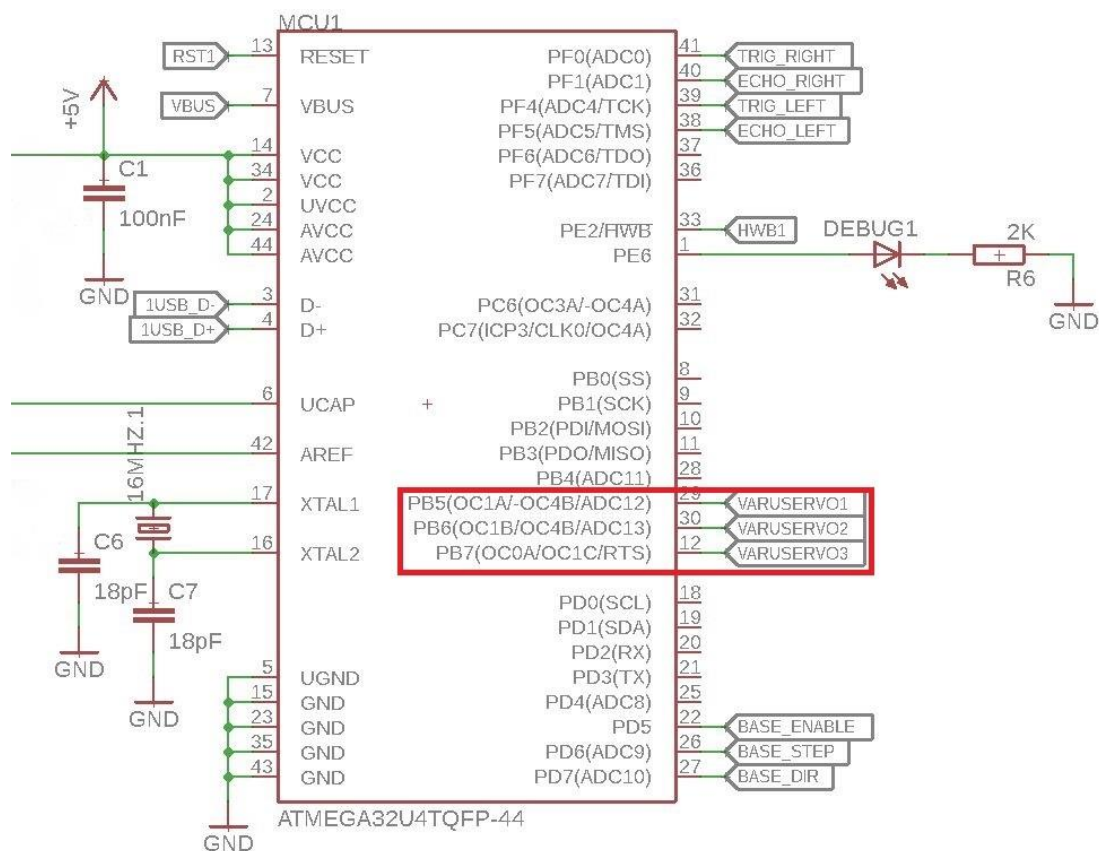
Joonis 2.7. Projekti põhimõtteline plokkskeem. I – sisendid; II – juhtüksused; III – väljundid; punktiirjoon – MCU1 vaheline ühendus; kitsas pidevjoon – MCU2 vaheline ühendus.

Lisaks on plokkskeemilt näha, et minimaalselt on vaja vähemalt ühte lülitit haaratsis, et tuvastada hetk, kui inimene on haaratsi vahelt reklaammaterjali ära võtnud. See tegevus käivitab servomootorite tegevuse ahela, mille tulemusena võetakse reklaammaterjalide „taskust“ uus kaart (flaier/visiitkaart), mida saab hakata mööduvatele inimestele ulatama. Ülejäänud käsivarre liigutused (kutsumine, reklaammaterjaliga viipamine) saab programmiselt sisse kirjutada, aga antud töö raames kirjutatud programmid käsitlevad ainult eesmärgi täitmiseks vajalikke käsklusi.

Plokkskeemi abil defineeriti kontrolleris kasutatava protsessori (MCU) nõuded:

1. vajalik vähemalt neli pulsilaiusmodulatsiooni (PWM) väljundviiku, ideaalis 16-bit PWM;
2. vajalik vähemalt kaks analoog-digitaal muunduri (ADC) sisendviiku;
3. vajalik kolm väljundviiku samm-mootori draiveri kontrollimiseks;
4. vajalik vähemalt üks sisendviik kaardi olemasolu tuvastamiseks.

Arvestades ka autori kogemusi erinevate MCU-de kasutamisel osutus sobilikuks MCU-ks Atmega32U4 protsessor, millel on kokku 44 viiku, millest 4 on kuni 16-bitist PWM viiku, 8 ADC viiku ja 25 IO lülitus viiku [5]. Osad viigud on omavahel kattuvad, aga see ei osutunud segavaks faktoriks. Programmi lihtsustamiseks ja tagavara võimaluste eesmärgil on antud projektis kasutatud kahte Atmega32U4 MCU-d. See tähendab, et kui ühe MCU ülesandeks on ainult ultraheli anduritest tuleva informatsiooni töötlemine ja samm-mootori juhtimine, siis saab selle MCU külge ühendada ka tagavara servomootorite ühendused, sest PWM viigud on vabad (joonis 2.8).



Joonis 2.8. MCU1 ühendused: PF0-PF1, PF4-PF5 ultraheli mooduli ühendus; PD5-PD7 samm-mootori ühendus; PB5-PB7 tagavara servomootorite ühendus (punasega).

Eelnevalt arvatatud liigendites rakenduva jõumomendi järgi sai nii õleliigendis kui ka küünarliigendis kasutatavaks servomootoriks MG966R. Kuna haaratsi ühegi liikuva detaili mass ei ületa nelja grammi (lisa a), siis detailide massist tulenevad jõukomponendid ei ole märkimisväärsed ja haaratsi haaratsi näppude liigutamiseks sai valitud TowerPro SG90 servomootor, kuna selle mass 9 g on piisavalt väike ja jõumoment 0,2 N·m on piisav haaratsite liigutamiseks [6]. Sama tüüpi servomootor on kasutuses ka reklaammaterjali

taskus, et robotmanipulaatorile anda ette järgmine reklaammaterjal siis kui haarats selle järgi haarab.

Robotmanipulaatori kesktelje pööramiseks on valitud Japan Servo Co Ltd poolt toodetud samm-mootor KH56LM2. Antud samm-mootor on võimeline liikuma täpsusega 1,5 kraadi sammu kohta, mis on piisav täpsus antud projekti jaoks. Samm-mootorit juhitakse läbi samm-mootori draivermooduli, et lihtsustada programmi ja samm-mootori juhtimise protsessi.

Selleks et robotmanipulaator teaks, kas robotit on vaja ümber kesktelje keerata päri- või vastupäeva, on autor eelistanud ultraheli moodulite kasutamist, kuna ultraheli mooduli tööd ei sega erinevad valgustingimused, tolmu- ja suitsu- ega ka udused tingimused [7]. Valiti ultraheli moodul US-15, mis oli töö koostamise perioodil ainus kättesaadav moodul. Selle ultraheli mooduli töötamiskaugus on kuni neli meetrit ja tajumisnurk on 15 kraadi [8]. Need näitajad on sobilikud antud projektis kasutamiseks.

Eelpool toodud põhikomponentide põhjal oli võimalik koostada voolutarbe bilanss (vt tabel 2.2). Tabelis 2.2 on näha, et süsteemi voolutarve jääb vahemikku 1,854–3,370 A. Kuna trükkplaadil kasutati pingeregulaatorit, mille maksimaalne väljundvool on kolm amprit, siis tuleb programmi koostamisel arvestada, et kõiki komponente ei tohi korraga täis koormusel tööle rakendada. Pingeregulaatori valik sõltus olemasolevatest ja kätte saadavatest komponentidest.

Tabel 2.2. Robotmanipulaatori voolutarbe bilanss

Komponent	Min voolutarve (A)	Max voolutarve (A)	Lühisvool (A)
SG90	0,200	0,300	0,730
SG90	0,200	0,300	0,730
MG966R	0,500	0,900	2,500
MG966R	0,500	0,900	2,500
Atmega32U4	-	0,200	-
Atmega32U4	-	0,200	-
KH56LM stepper	0,450	0,750	-
US-015	0,002	-	-
US-015	0,002	-	-
KOKKU:	1,854	3,370	6,460

Trükkplaadil kasutatud pingeregulaatoril LM1085IS-5.0 on väljundpinge fikseeritud 5 V, sisendpingeks e. süsteemi toitepingeks on arvestatud 12 V. See on leitav valemiga

$$P_{PSU} = P_{LM} = U_{LMout} \cdot I_{LMout}, \quad (2.7)$$

kus P_{psu} on toiteploki võimsus W;

P_{LM} – pingeregulaatori maksimaalne väljund võimsus W;

U_{LMout} – pingeregulaatori väljundpinge V;

$I_{LM,out}$ – pingeregulaatori väljundvool A.

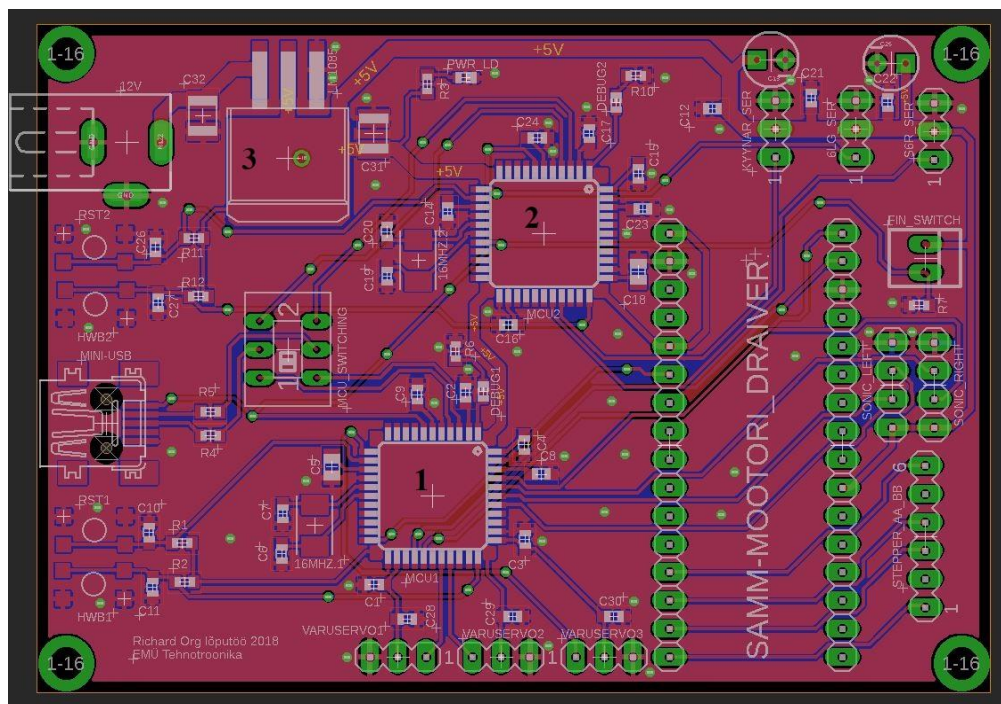
Näiteks kui pingeregulaatori väljund vool $I_{LMout} = 3$ A, siis pingeregulaatori väljund võimsus on leitav $P_{LM} = 5 \cdot 3 = 15$ W. Toiteallikaks vajaliku AC/DC muunduri valimisel on arvestatud ka pingeregulaatoris ja muunduris soojusenergiale kuluvat võimsuskadu 10% , mis on tüüpiline 12V AC/DC muundurite puhul. See tähendab, et toite allikaks tuleb kasutada vähemalt $P_{PSU} = 15/0,9 = 16,7$ W võimsusega AC/DC muundurit.

Elektroonikakomponentide paiknemine ning komponentide ühenduste skeemid on toodud lisa B.

2.2.1 Trükkplaat

Trükkplaadi kavandamisel võeti arvesse ka trükkplaadi tootja poolsed piirangud, millest tulenevalt ei tohtinud kahe kihi vaheliste avade diameetrid olla väiksemad kui 0,2 mm läbimõõduga ja minimaalne jootemaski laius võis olla 0,12 mm. Trükkplaat on toodetud SeedStudios poolt.

Enamike trükkplaadi komponentide valik tulenes põhikomponentide (MCU1, MCU2, pingeregulaator) andmelehtede soovitustest. Ülejäänute valik sõltus vajaminevate lisamoodulite, mootorite ja lülite ühendusviisidest (joonis 2.8)



Joonis 2.8. Trükkplaadi projektsioon tähistatud peamiste komponentidega: 1 – MCU1; 2 – MCU2; 3 – Pingeregulaator.

Trükkplaadil kasutatud ja terviksüsteemi töötamiseks vajalike komponentide nimikiri on toodud tabelis 2.3.

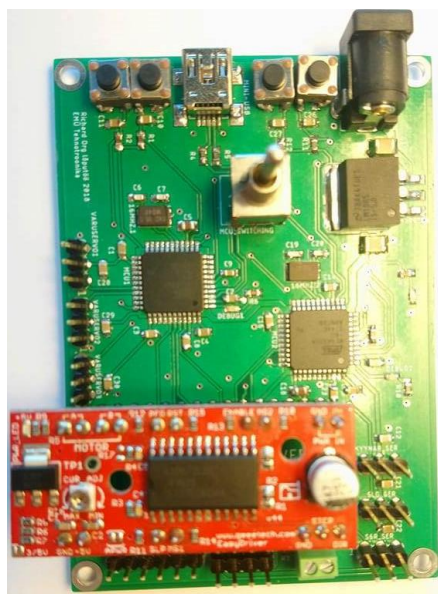
Tabel 2.3. Trükkplaadi komponentide nimekiri ja kogused

Komponent	Nominaal	Kogus	Kirjeldus
Piikriba	–	2	Servode ja andurite ühendused
pistikuriba	–	2	Samm-mootori draiveri ühendus
Toite ühendus	–	1	12V sisend ühendus
Ostsillaator	16 MHz	2	MCU
Kondensaator	100 nF	20	SMD 0603
Kondensaator	10 uF	2/2	SMD 0805/SMD 1210
Kondensaator	18 pF	4	SMD 0603
Kondensaator	1 uF	2	SMD 0603
LED	–	3	Toite ja debug ledid SMD 0603
Kruviterminal	–	1	Kaardituvastus lüliti ühendus
Lüliti	–	4	MCU-de RST ja HWB lülitid
Pingeregulaator	–	1	Fikseeritud väljundvooluga regulaator
Atmega32U4	–	2	MCU-d
Liuglüliti	–	1	USB ühenduse ja MCU-de vaheline lüliti
Mini USB	–	1	USB ühendus
Takisti	10 kΩ	4	SMD 0603
Takisti	2 kΩ	3	SMD 0603
Takisti	22 Ω	2	SMD 0603
Takisti	120 Ω	1	SMD 0603

Trükkplaadil oli samm-mootori draiveri ühendamiseks paigutatud kaks üherealist pistikuriba, mille omavahelist kaugust oli võimalik kasutatava samm-mootori draiveri pealt mõõta. See võimaldas samm-mootori draiveri väga lihtsasti trükkplaadiga ühendada ja vajadusel ka eemaldada (joonis 2.9).



A



B

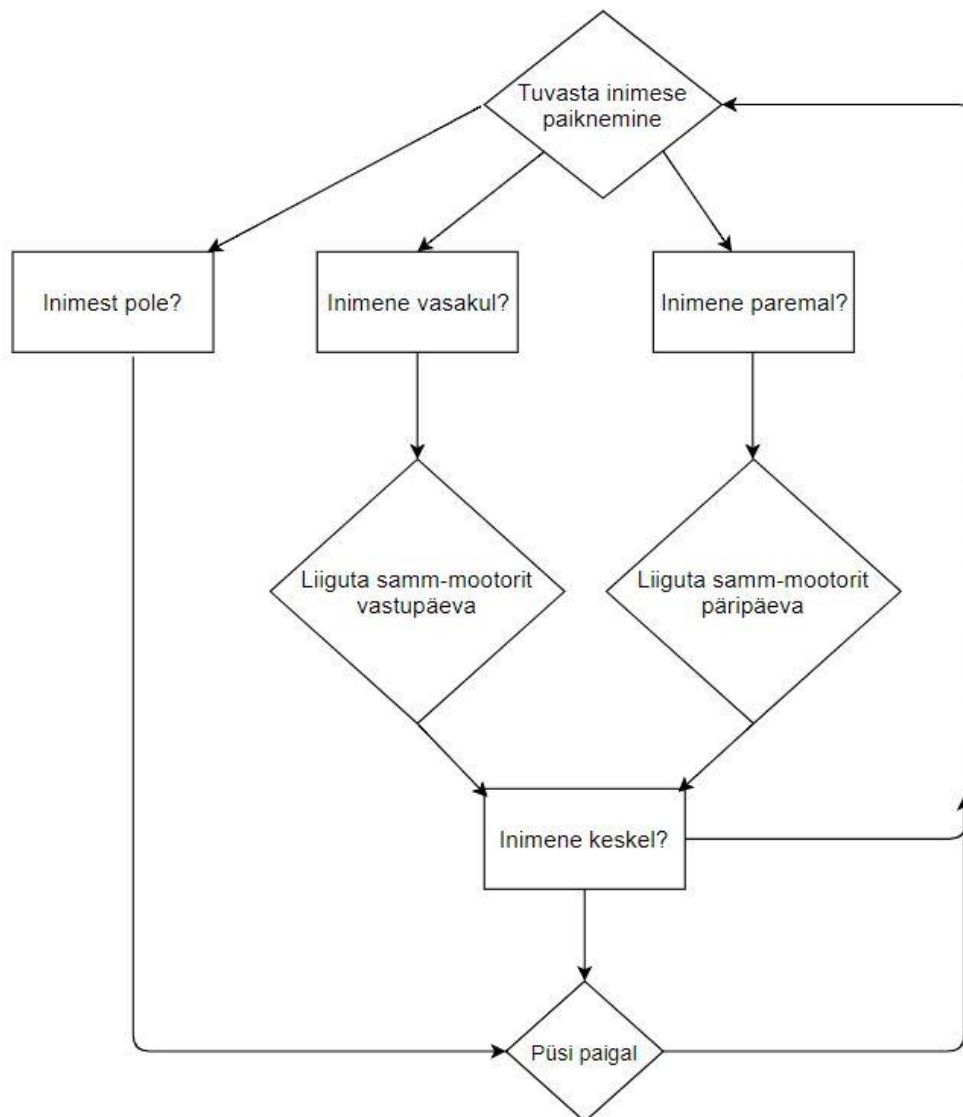
Joonis 2.9. A – trükkplaat ilma samm-mootori draiverita. B – trükkplaat koos ühendatud samm-mootori draiveriga.

Trükkplaadi projektsoon on detailsemalt ära toodud lisas C. Trükkplaadil kasutatava samm-mootori draiveri elektriskeem on ära toodud lisas D.

2.3. Tarkvara

Robotmanipulaatorit kontrolliv programm on kirjutatud AtmelStudio7 keskkonnas ja C programmeerimiskeeles. Kuna lõputöö raames projekteeritud trükkplaadi valmistamiseks kulus üle kuu aja, siis oli võimalik enne põhiprogrammide kirjutamist kõik olulisemad komponendid (samm-mootor, servomootorid, lülitid ja ultraheliandurid) Arduino UNO arendusplaadi peal läbi katsetatud, et veenduda komponentide korrasolekus.

Trükkplaadile pandud 2 *MCU*-d tähendas, et mõlema jaoks tuli koostada erinev programm. See andis võimaluse mõlemad programmid lihtsustatult üles ehitada. Joonisel 2.10 on ära toodud *MCU1* programmi plokk skeem, mis on mõeldud samm-mootori kontrollimiseks ja kere keeramiseks mööduva inimesega kaasa.

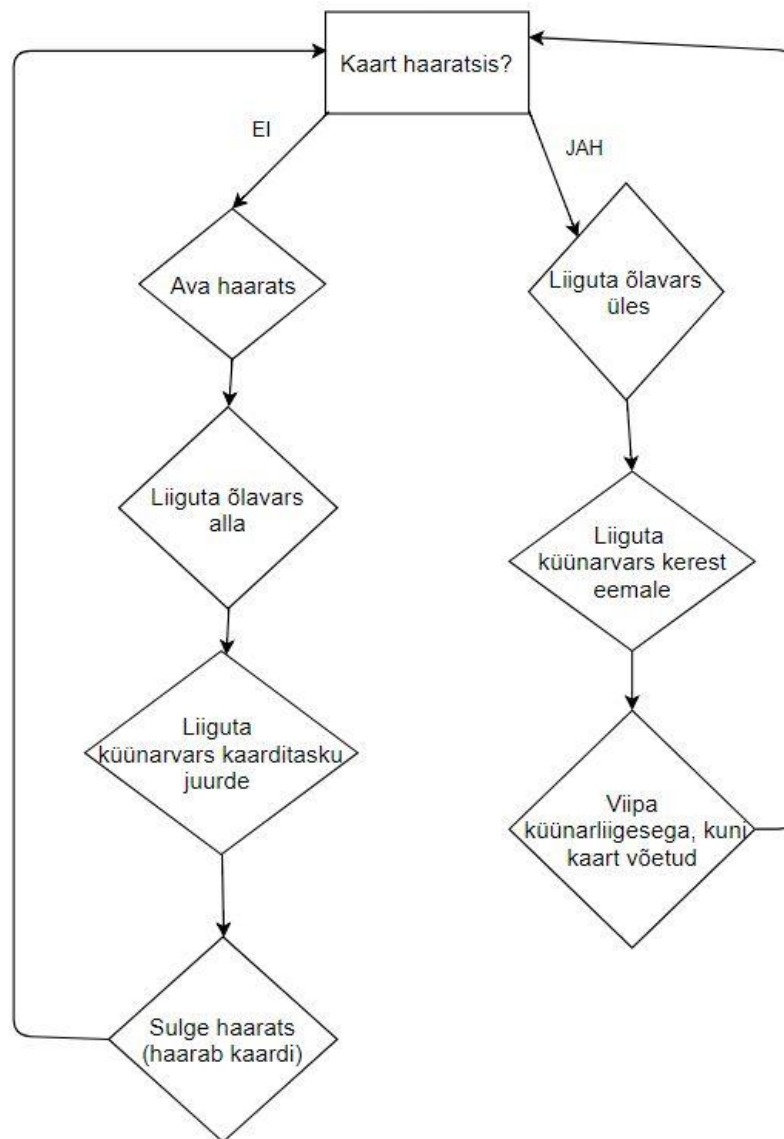


Joonis 2.10. *MCU1* programmi plokk skeem.

Joonisel on näha, et programm üritab hoida manipulaatorit otse inimese suunas ja inimese liikumisega keerab ennast vastavalt sinna suunas, kuhu inimene liikus manipulaatori suhtes. Kui inimene on vaateväljast eemal, siis püsib manipulaator paigal.

Joonisel 2.11 on ära toodud *MCU2* programmi põhimõtteline plokk skeem. Jooniselt on näha, et programmi tegevus sõltub haaratsi otsas olevast kaardituvastus lülitist.

Kaardituvastus lüliti abil saab MCU2 tegevuse kategoriseerida kahes osas: kaardi võtmine ja kaardi ulatamine.



Joonis 2.11. MCU2 programmi põhimõtteline plokkskeem.

Lisaks on MCU2 programmis arvestatud, et vastavalt pingeregulaatorist tuleneva piiranguga ei tohi kõik servomootorid korraga rakenduda. Sellise olukorra vältimiseks on servomootorite liigutus käskluste vahel kasutatud viite tekitamiseks `_delay_ms()` käsku.

Atmega32U4 16-bit PWM signaali kalibreerimiseks oli vaja programmis ära defineerida vastava taimer/loenduri kontroll (*TCCR*) registri bittide väärtused. Atmega32U4 puhul on *TCCR1* ja *TCCR3* 16-bitised. Servomootorite liigutuskäskluste edastamiseks oli vaja

programmis vastavalt vajadusele muuta vastavate viikude väljund kontroll registreid (*OCR*), mis antud *MCU* puhul tähendas registreid *OCR1A* (haaratsi servomootor), *OCR1B* (küünarvarre servomootor) ja *OCR1C* (õlavarre servomootor) [11].

MCU1 programmi toimiseks oli vaja mõõta ultraheli anduri sisendviigu loogilise kõrgseisu kestvust ja selle järgi arvutada inimese kaugus andurist. Ultraheli anduri järgi arvutatav kaugus on leitav valemiga [10]

$$l_{uh} = T_{uh} \cdot \frac{v_h}{2}, \quad (2.8)$$

kus l_{uh} on objekti kaugus ultraheli andurist cm;

T_{uh} – heli tagasi peegeldumise aeg μs ;

v_h – helikiirus 0,034 cm/ μs .

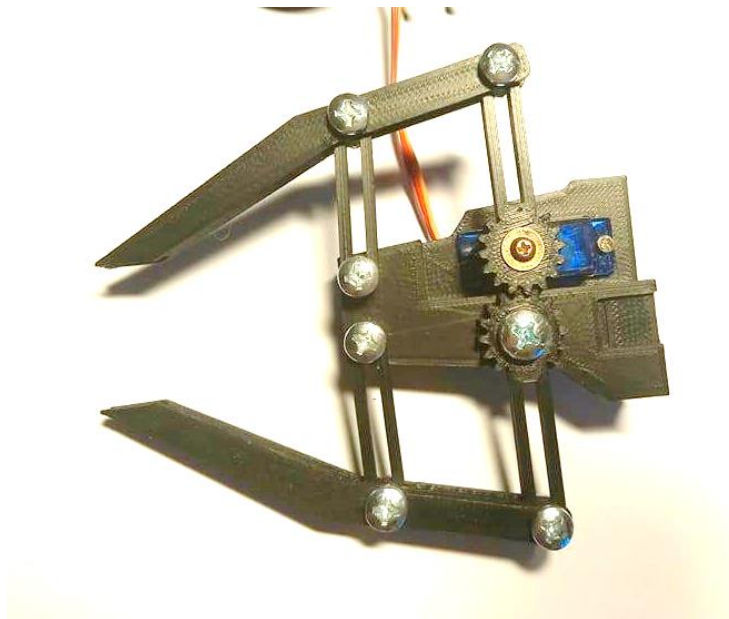
Näiteks kui heli tagasi peegeldumise aeg objektist on 1200 μs , siis objekti kaugus on 20 cm. Valemis 2.8 toimuv kahega läbi jagamine, sest et heli liigub kahes suunas (objektini ja tagasi), aga vaja on teada ainult ühe suunalist kaugust.

Mõlema *MCU* programmid on ära toodud lisas E.

3. LOODUD SÜSTEEMI ÜLEVAADE

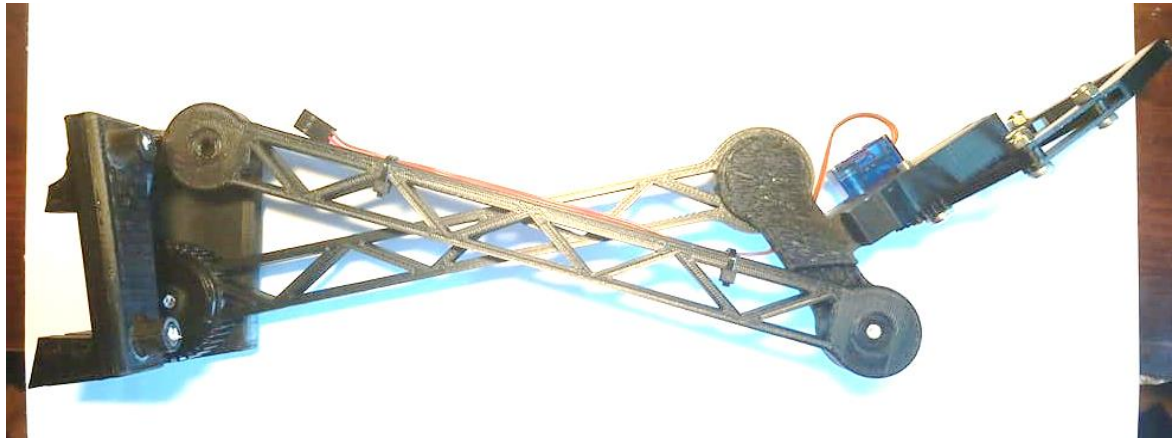
3.1. Mehaanika lõplik lahendus ja arutelu

Antud töö raames valmis kõige esimesena haarats (joonis 3.1). Haaratsi detailide puhul sai autor aru, et 3D printimisest tulenevad detailide mõõtmed on ülemõõdus ja enamik istudedst on pinguga. Selle lahendamiseks oli vaja detailide omavahelised kokkupuute pinnad ja avad üle lihvida. Kõige enam vajab üle lihvimist servomootorile mõeldud ava, mille andmelehe mõõdud ja reaalse mootori mõõdud ei kattu 100% (reaalne mootor on natuke suurem). Peale monteerimist veenduti selle mehhanismi toimimises.



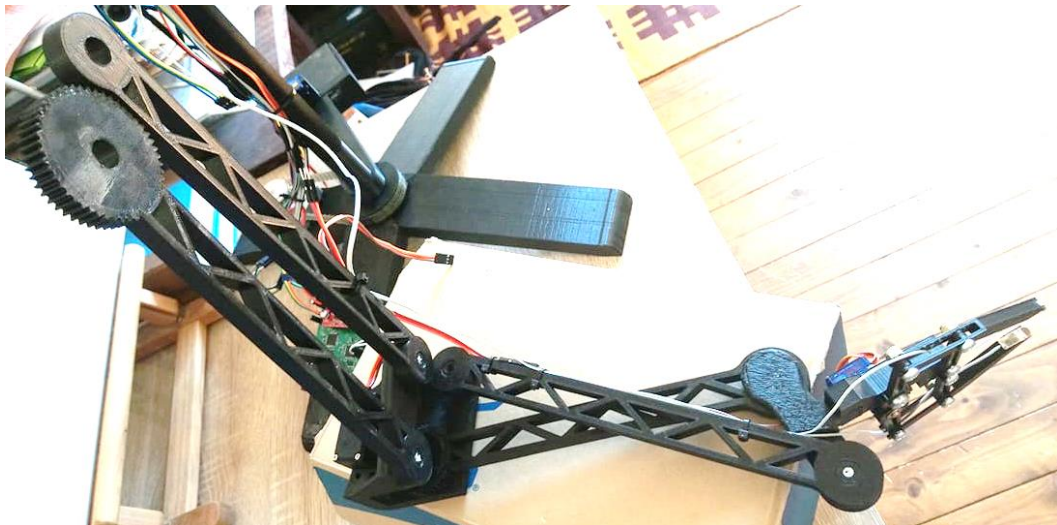
Joonis 3.1. 3D prinditud detailidest koostatud haarats koos SG90 servomootoriga.

Järgmisena valmisid küünarvarre detailid (joonis 3.2), mille puhul oli samuti vaja detailide omavahelised kokkupuute pinnad lihvpaberiga üle käia, et robotmanipulaatori liikumine oleks ühtlane ja sujuv. Küünarvarre puhul ilmnes, et varraste kinnituste juures ei ole vaja kasutada ülekattega seibi ja mutrit, sest detailide istud olid kas siirde või pinguga ja püsisid ise koos.



Joonis 3.2. 3D prinditud detailidest koostatud küünarvars koos haaratsiga.

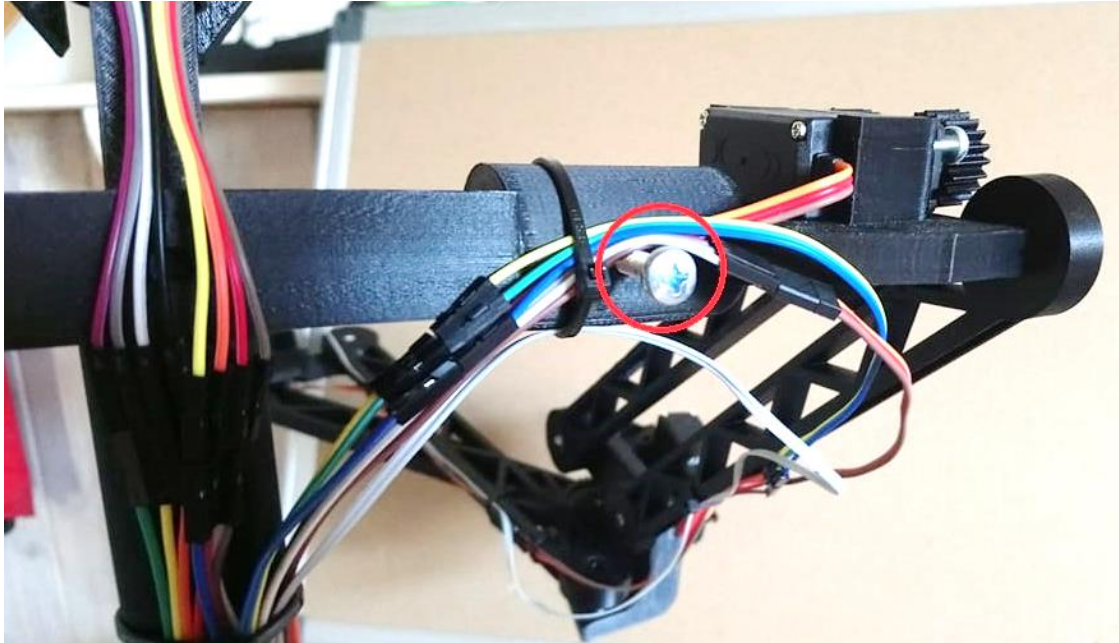
Peale küünarvarre ja liigendi valmimist ja katsetamist sai valmis õlavarv (joonis 3.3). Õlavarre puhul oli autor juba eelmiste detailide vigadest õppinud ja *SolidWorks* mudelis projekteerinud detailidele suuremad lõtkud, mille tulemusena sobisid detailid omavahel paremini kokku ja lihvimist oli vaja ainult pinnatöötluste eesmärgil teha.



Joonis 3.3. 3D prinditud detailidest koostatud käsivars (õlavarv, küünarvars, haarats).

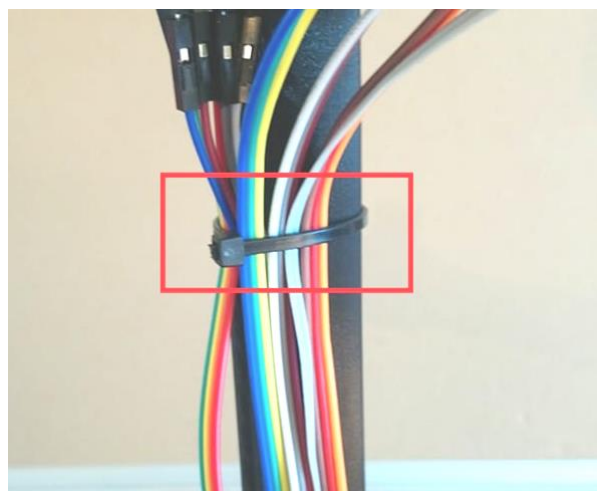
Lisaks osutus probleemiks kasutatud materjali kui ka konstruktsiooni enda jäikus, ehk siis võib robotmanipulaatoril olla kohati keeruline saada kaarditaskust kaarti kätte, kuna käsivars võib peale liikumist õõtsuma jääda ja haaratsi otsad ei pruugi paikneda kaarditaskuga täpselt kohakuti.

Õlaliigendi ja rangлуу vaheline ühendus ei olnud piisava tihedusega, et õlaliigend püsiks ainult hõõrdjõu abil paigal. Õlaliigendi nurga fikseerimiseks kasutati M6 metallkruvi (joonis 3.4).



Joonis 3.4. Õlaliigendi fikseerimiseks kasutatud metallkruvi märgitud punasega.

Kuigi nii küünar- kui ka õlavarres kasutatud pikas varvas olid juhtmete paigalduskohad sisse projekteeritud, oli nendest vähe kasu ja juhtmete fikseerimiseks kasutati kaablisidemeid (joonis 3.5).



Joonis 3.5. Juhtmete kinnitamine kesktelje külge kasutades kaablisidet (märgitud punasega).

Mehaanilise osa lõplik koost on ära toodud joonisel 3.6, kus on näha robotmanipulaator väljasirutatud käsivarrega.



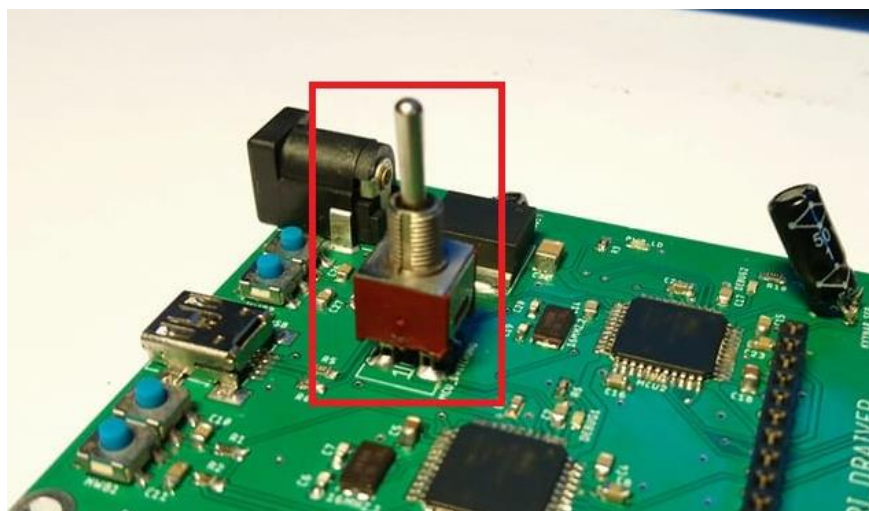
Joonis 3.6. Mehaanilise osa lõplik koost koos 3D prinditud detailide, lisamoodulite ja mootoritega.

Robotmanipulaatori lõpliku koostu juures ilmnes, et käsivarre välja sirutatud asendis paindub kesktelg käsivarre suunas. Korduva kasutamise puhul tähendab see, et kesktelg võib lõpuks väsimuskoormusest murduda. Seda asjaolu tuleb robotmanipulaatori järgmistes versioonides arvesse võtta ja kesktelge tugevamalt toestada.

Robotmanipulaatori konstrueerimiseks kasutatavad detailid on prinditud 20%-se täiteastmega. Sellest tulenevalt on detailide reaalsed massid ja liigendite massist tulenevate jõukomponentide väärtused arvutatud väärtustest väiksemad.

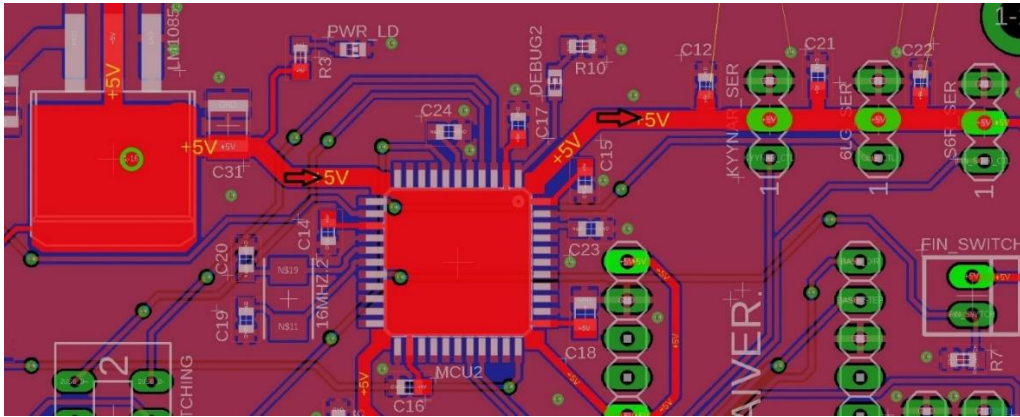
3.2. Elektroonika lõplik lahendus ja arutelu

Antud projekti käigus kujunes probleemiks sobilike komponentide leidmine trükkplaadi jaoks. Trükkplaadi komponendid sai tellitud veebipoest Farnell ja kõik komponendid peale *MCU*-de ja *USB* vaheline lüliti ei jõudnud kohale, ja kuna trükkplaat oli juba ära tellitud, siis ei saanud sellel vastavaid muudatusi sisse viia, et puudu olev lüliti asendada mingi muu lülitiga. See tähendas, et tuli leida sobiv lüliti Eesti elektroonikapoodidest, sest ilma selle komponendita ei oleks olnud võimalik *MCU*-sid programmeerida. Leitud sobilik komponent on oma suuruse poolest küll kordades suurem esialgsest lülitist, aga selle trükkplaadi jalajälg on sobilik (joonis 3.6).



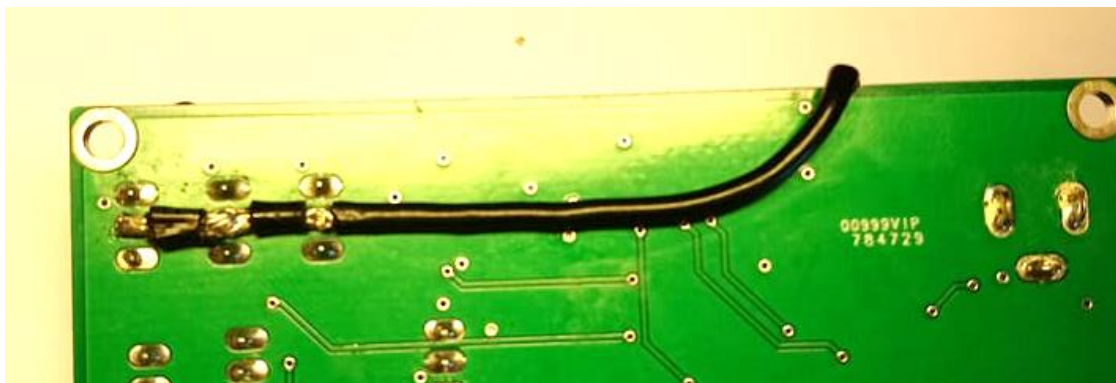
Joonis 3.6. Asendatud *MCU*-de ja *USB* vaheline lüliti märgitud punasega.

Lisaks sellele oli probleeme trükkplaadi projektsiooniga. Joonisel 3.7 on näha, et servomootorite toite viik läheb *MCU2* alt läbi, mis tähendab, et *MCU2* alune kuumenes liigselt selle all paikneva toiteliini suure voolu tõttu. Autor märkas seda probleemi trükkplaadi katsetamisel, kui üritas kõiki servomootoreid korraga tööle panna ja *MCU2* temperatuur tõusis üle lubatud maksimum piiri, mis on Atmega32U4 puhul $+85^{\circ}\text{C}$ [11]. See temperatuur põhjustas *MCU2* *RST* olekusse minemist ja töö katkestamist.



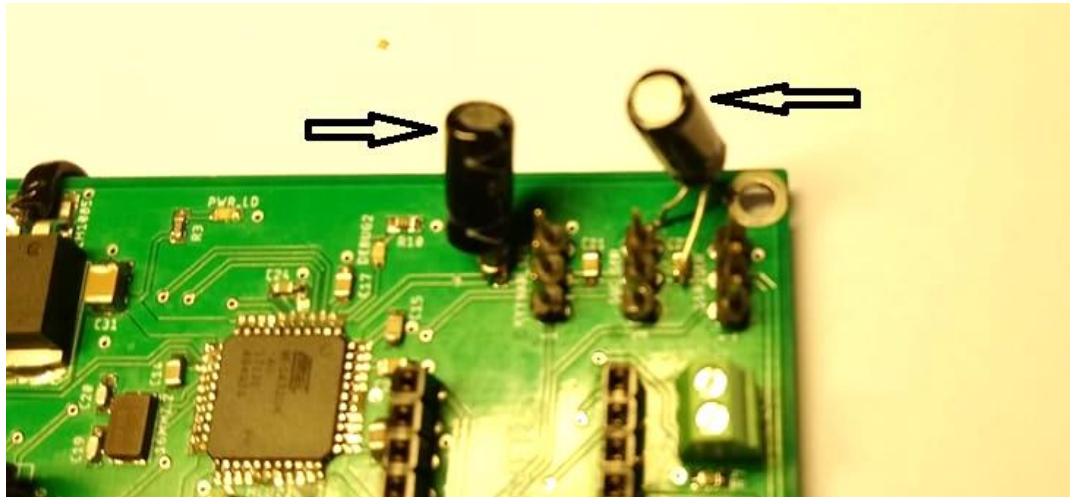
Joonis 3.7. Trükkplaadi projektsiooni viga. Helepunasega märgitud rada, mis põhjustas ülekuumenemist.

Selle probleemi lahendamiseks lõi autor servomootorite toite viigu *MCU2* ja servomootorite vaheliselt lõigult läbi ja jootis pingeregulaatori +5V väljund viigu ja servomootorite toite viikude vahele isoleeritud juhtme abil (joonis 3.8).



Joonis 3.8. Servomootorite toite viigu ümber vedamine isoleeritud juhtme abil.

Veel leidis autor, et servomootorite sujuvaks töötamiseks on vaja nende toite viigule lisada juurde suurema mahtuvusega kondensaatorid. See probleem sai lahendatud kahe 1 μF kondensaatori jootmisega seniste servomootorite toite viigu kondensaatorite kohale (joonis 3.9).



Joonis 3.9. Trükkplaadil servomootorite toiteviigule lisatud 1 μ F kondensaatorid.

Väljatoodud lahendused likvideerised *MCU*-de ülekuumenemise probleemi ja servomootorite ebaühtlase või liikumata jätmise probleemi. Lisas C on ära toodud trükkplaad projektisioon parendatud kujul (väljatoodud vead on likvideeritud).

3.3. Prototüübi eelarve

Süsteemis kasutatavate komponentide ja lisatarvikute (kaablid, mutrid, kruvid) kogumaksumus on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Robotmanipulaatoris kasutatavate komponentide ja detailide maksumus.

Komponent/detail/tegevus	Kogus tk	Hind €
PCB	5	6
MG966R servo	2	30
SG90 servo	2	10
PCB komponendid	40	71
Detailide printimine	32	355
AC/DC muundur	1	6
Ultraheli moodul	2	11
Kaablid		21
Mutrid, kruvid, seibid		9
	Kokku:	519

Silmas tuleb pidada, et tabelis 3.1 toodud eelarvesse on lisatud ka asendatud või välja vahetatud komponendid ja detailid. See tähendab, et lõplikku summat on võimalik vähendada vigade vältimisega. Lisaks oleks võimalik kulusid vähendada kasutades detailide projekteerimisel efektiivset materjali kasutamise põhimõtet (ebavajalikult paksud seinad veel õhemaks, kosmeetiliste detailide täiteprotsent veel väiksemaks, jne).

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös on välja toodud lahendus reklaammaterjale jagava robotmanipulaatori konstrueerimiseks. Töö käigus on kindlaks määratud baasfunktsioonid, mida selline süsteem oma eesmärgi täitmiseks vajab ja on põhjalikult lahti seletatud, kuidas neid funktsioone täita.

Valminud robotmanipulaator suudab ennast kaasa keerata temast mööduva inimesega kasutades inimese liikumise tuvastamiseks ultraheli andureid ja kesktelje keeramiseks rihmülekanedega samm-mootorit. Reklaammaterjalide ulatamiseks inimesele on autor projekteerinud ja konstrueerinud humanoid robotmanipulaatorkäe, mille otsas oleva haaratsiga saab robot võtta reklaammaterjalide taskust flaieri või visiitkaardi ja käe abil seda mööduvale inimesele ulatada. Seda, kas inimene on lehe haaratsi vahelt ära võtnud või mitte, tuvastab robot haaratsi näppudes oleva lülitiga, mis aktiveerub siis, kui leht on haaratsi näppude vahelt ära võetud. Robotkäe liigendeid liigutavad servomootorid. Roboti detailide tootmiseks on kasutatud 3D printimise tehnoloogiat, mille tulemuseks on kerge ja vastupidav robotmanipulaator.

Roboti mootorite kontrollimiseks ja ultraheliandurite informatsiooni töötlemiseks on kasutatud kahte Atmega32U4 protsessorit, mis on projekteeritud ühisele trükkplaadile. Süsteem saab toitepinge läbi AC/DC muuduri.

Süsteemi on võimalik edasi arendada lisades selle liikuvatele osadele lisa vabadusastmeid (pea liigutamine, randme keeramine, jne), see tähendaks ka programmiselt edasi arendusi. Lisaks saab edasi arendada liigendite jäikust tehes manipulaatorkäe veel stabiilsemaks.

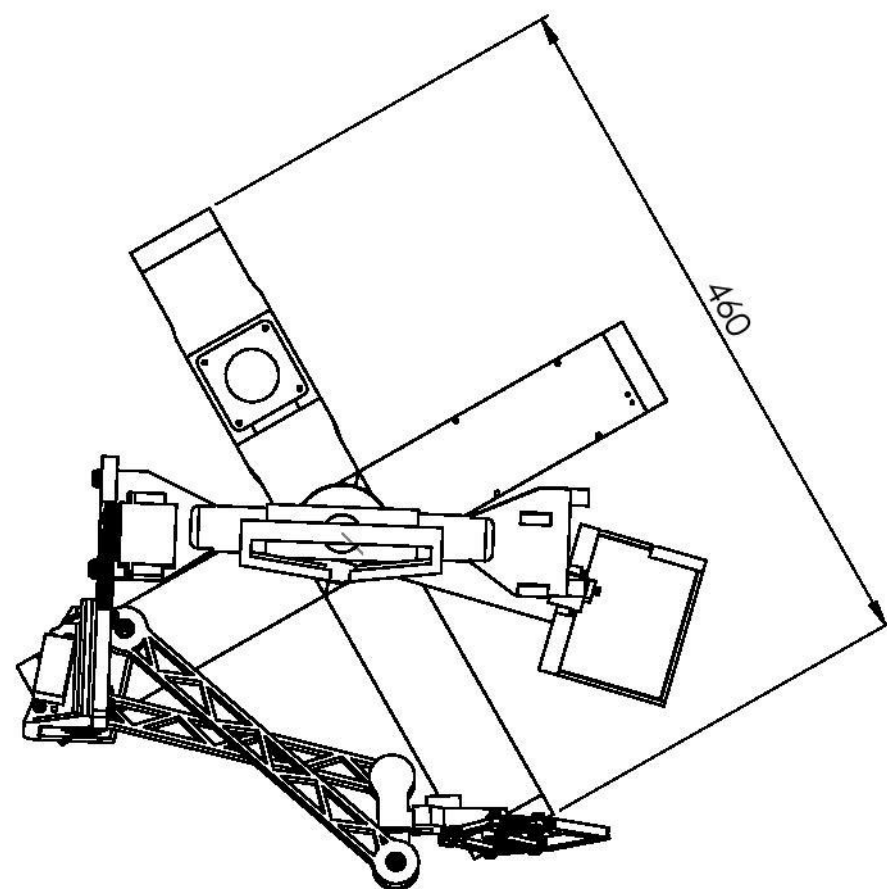
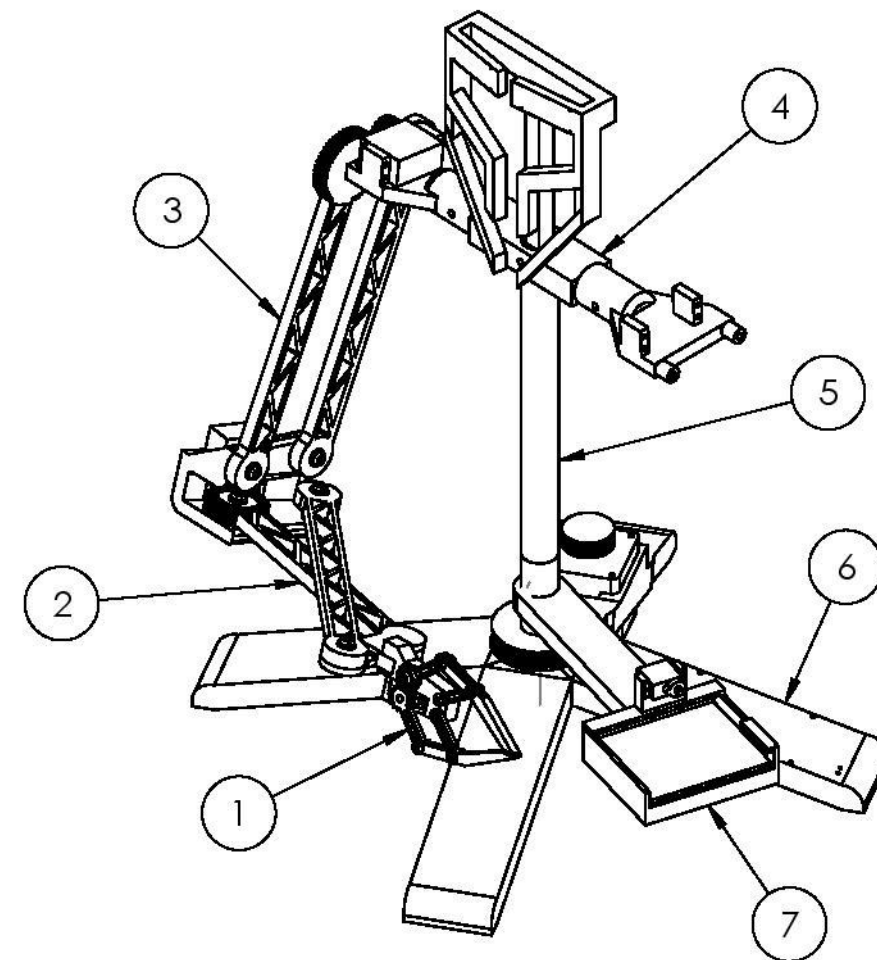
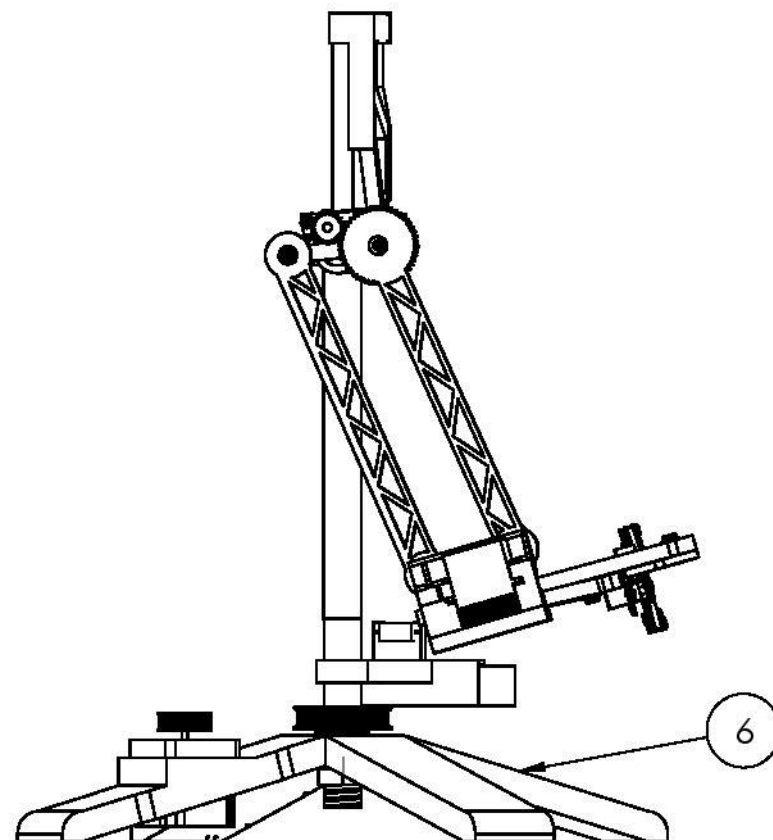
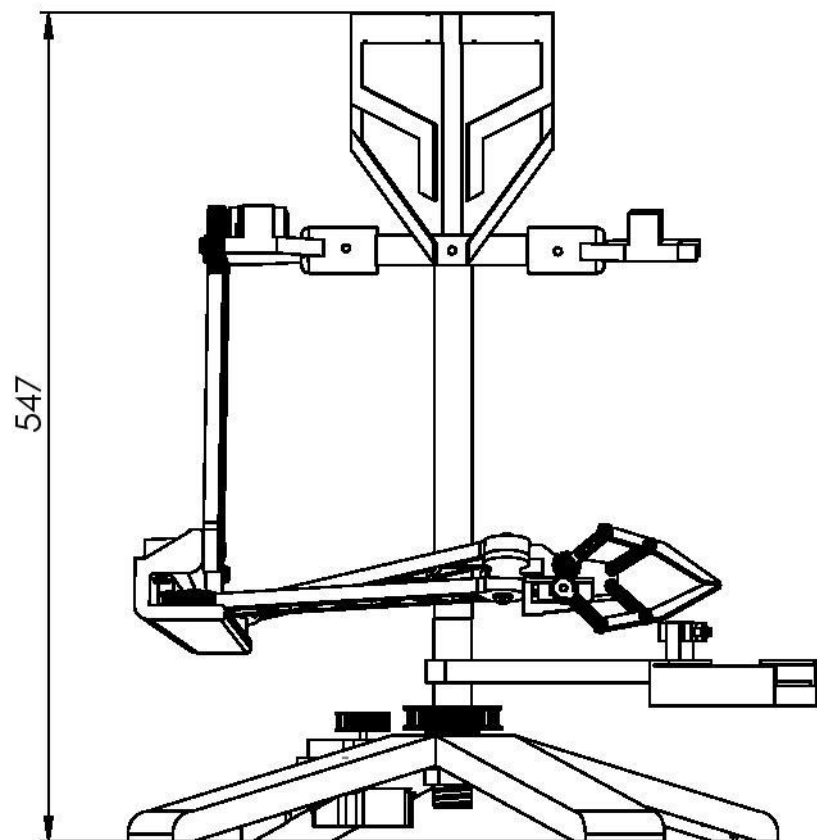
KASUTATUD KIRJANDUS

1. „EKSS,“ [veebileht]. Available: <http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=robot&F=M>. (Kasutatud 07.05.2018).
2. „EKSS,“ [veebileht]. Available: <http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=manipulaator&F=M>. (Kasutatud 07.05.2018).
3. Rodney A. Brooks, Cynthia Breazeal, Matthew Marjanovic, Brian Scassellati, Matthew M. Williamson, „The Cog Project: Building a Humanoid Robot. In: Nehaniv C.L. (eds) Computation for Metaphors, Analogy, and Agents. Lecture Notes in Computer Science, vol 1562,“ %1 Springer, Cambridge, 1999.
4. P. Ridden, „Toyota's latest humanoid robot aces operator mimicry,“ New Atlas, 21.11.2017. [Veebileht]. Available: <https://newatlas.com/toyota-thr3-robot/52286/>. (Kasutatud 14.05.2018).
5. „RobotWorx,“ SCOTT Company, [veebileht]. Available: <https://www.robots.com/robots/fanuc-r-2000ib-125l>. (Kasutatud 14.05.2018).
6. J. Borenstein, „Robots and the changing workforce,“ Springer-Verlag, London, 2009.
7. „Technical data sheet ABS,“ Ultimaker, 2017.
8. H. Lepikson, Masinaehitaja käsiraamat, Tallinn: Valgus, 1971.
9. Ilmar Kleis, Heino Arumäe, „Rakendusmehaanika,“ Tallinn, 2001.
10. Ulrich Fischer, Roland, Gomeringer, Max Heinzler, Roland Kilgus, Friedrich Näher, Stefan Oesterle, Heinz Paetzold, Andreas Stephan, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallina Tehnikaülikool, 2012.
11. „MG996R High Torque Metal Gear Ball Bearing Servo,“ [veebileht]. Available: http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf. (Kasutatud 07.05.2018).

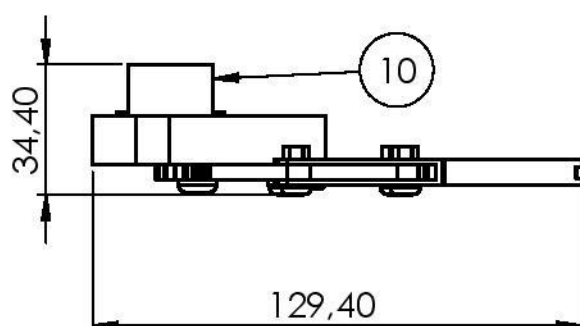
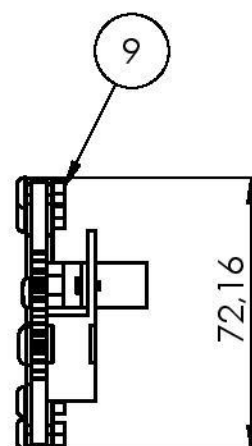
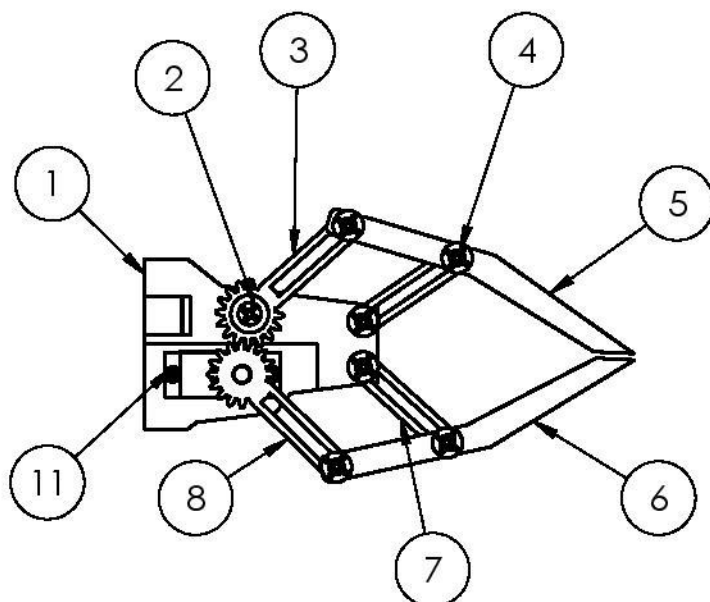
12. „ATmega16U4/ATmega32U4 datasheet,“ Atmel, [veebileht]. Available: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4_Datasheet.pdf . (Kasutatud 07.05.2018).
13. „SG90 9g Micro Servo datasheet,“ [veebileht]. Available: <http://akizukidenshi.com/download/ds/towerpro/SG90.pdf>. (Kasutatud 07.05.2018).
14. R. Burnett, „Ultrasonic vs Infrared (IR) Sensors,“ MaxBotix, 27 11 2017. [veebileht]. Available: <https://www.maxbotix.com/articles/ultrasonic-or-infrared-sensors.htm>. (Kasutatud 08.05.2018).
15. „US-015 Ultrasonic Distance Measurement Module V2.0,“ [Veebileht]. Available: <http://akizukidenshi.com/download/ds/sainsmar/US-015Manul.pdf>.
16. P. Murray, „Better, Faster, and Cheaper - These Robots Are Invading Car Manufacturing Plants,“ SingularityHub, 04 05 2012. [veebileht]. Available: <https://singularityhub.com/2012/05/04/better-faster-and-cheaper-these-robots-are-invading-car-manufacturing-plants/#sm.00uo6bab1bh2frp10sl1q0u6j17xp> . (Kasutatud 07.05.2018).

LISAD

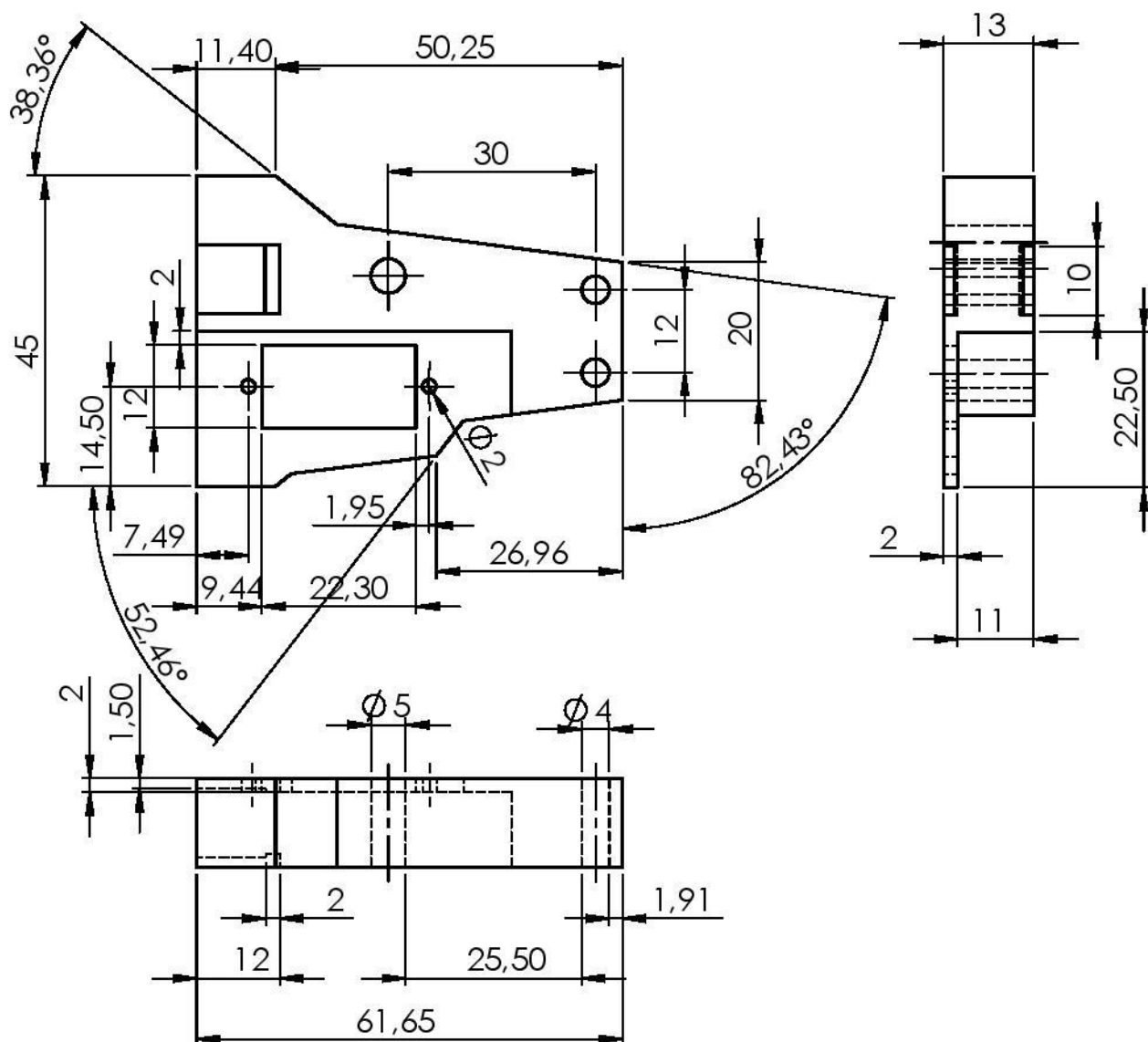
LISA A



7		Kaarditasku koostejoonis	TN 18/140434 A 08 00 K	1	
6		Aluse koostejoonis	TN 18/140434 A 07 00 K	1	
5		Kesktele koostejoonis	TN 18/140434 A 06 00 K	1	
4		Õlgade koostejoonis	TN 18/140434 A 05 00 K	1	
3		Õlavarre koostejoonis	TN 18/140434 A 04 00 K	1	
2		Küünarvarre koostkoostejoonis	TN 18/140434 A 03 00 K	1	
1		Haaratsi koostejoonis	TN 18/140434 A 02 00 K	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 2,75 kg	Mõõt: 1:5
Teostas	Richard Org		Reklaammaterjale jagava robotmanipulaatori koostejoonis		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN			Leht: 1/35	Tähis: TN 18/140434 A 01 00 K	

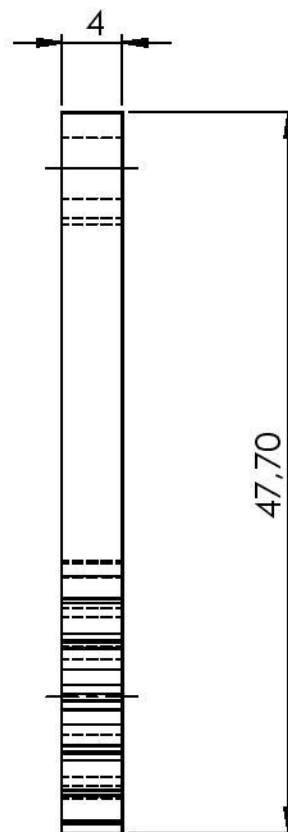


11		Metallkruvi M2x5		2	
10		Servomootor SG90		1	
9		Lukustusmutter M4		4	
8		Haaratsi servomootori varb	TN 18/140434 A 02 08 D	1	
7		Haaratsi varb	TN 18/140434 A 02 07 D	2	
6		Parem haaratsi lüli	TN 18/140434 A 02 06 D	1	
5		Vasak haaratsi lüli	TN 18/140434 A 02 05 D	1	
4		Metallkruvi ümarpea M4x10		6	
3		Haaratsi juhtvarb	TN 18/140434 A 02 03 D	1	
2		Metallkruvi ümarpea M5x15		1	
1		Peopesa	TN 18/140434 A 02 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,06 kg	Mööd: 1/2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Haaratsi koost			
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN		Leht: 2/34	Tähis: TN 18/140434 A 02 00 K		

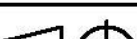


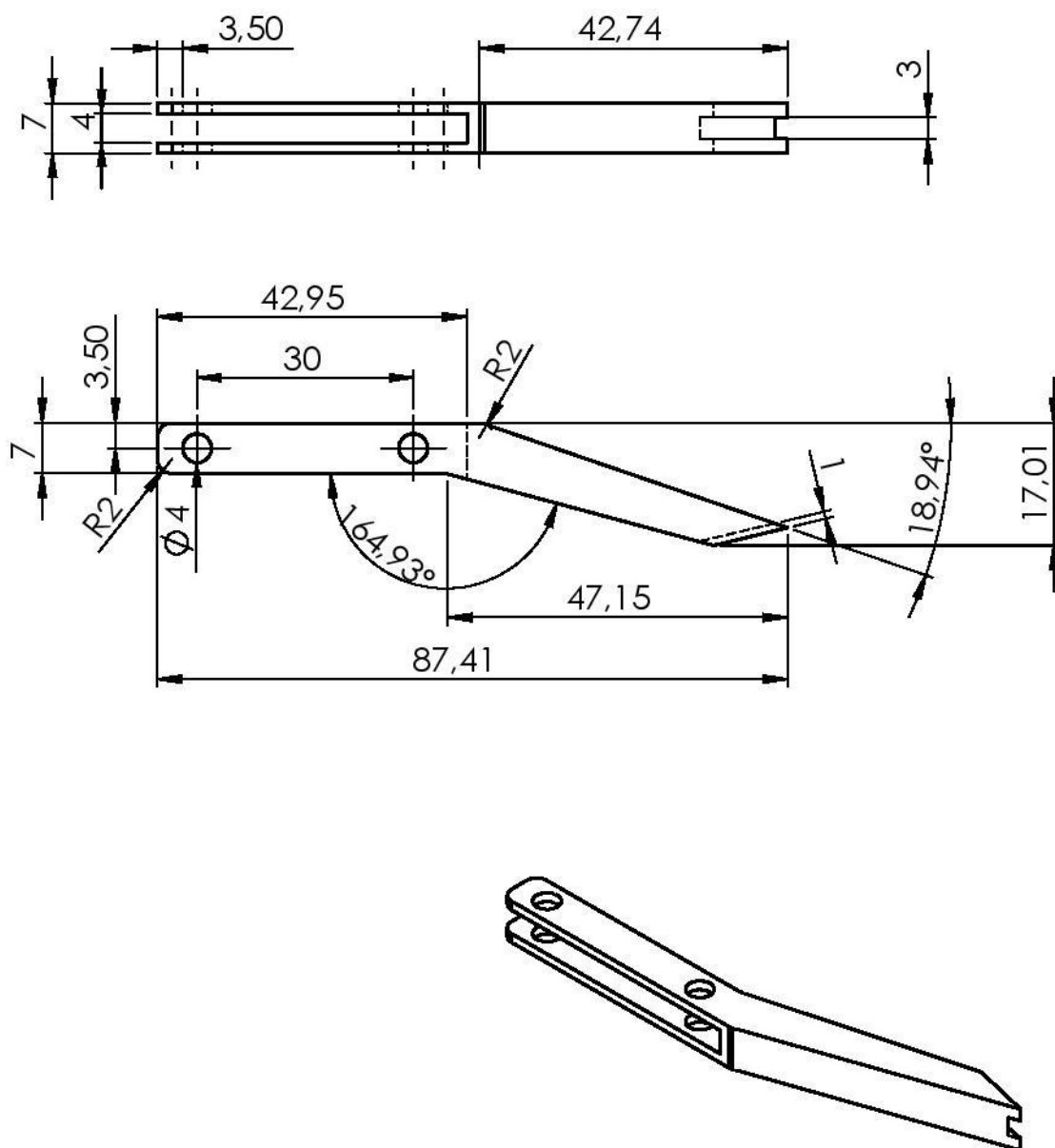
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüünitriilbutadieenstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,02 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Peopesa		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 3/35	Tähis: TN 18/140434 A 02 01 D	



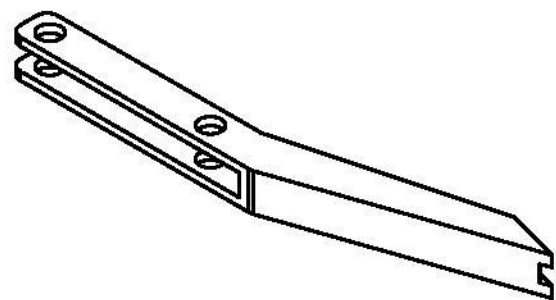
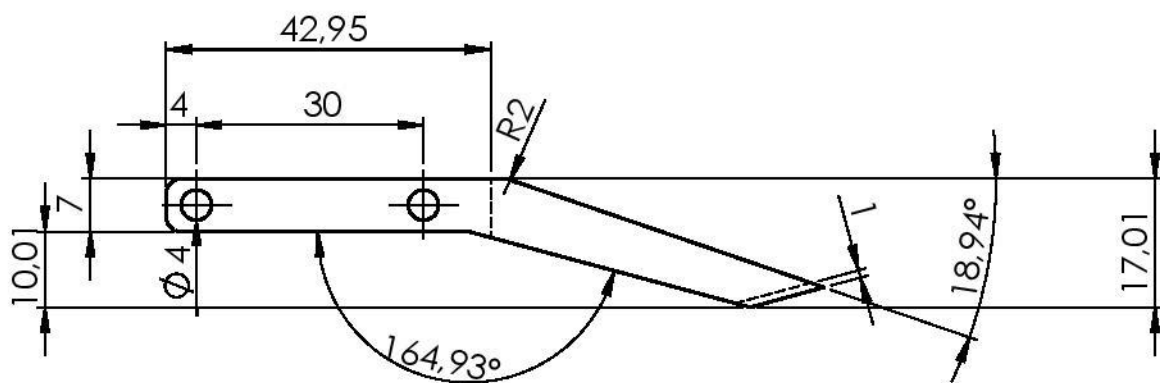
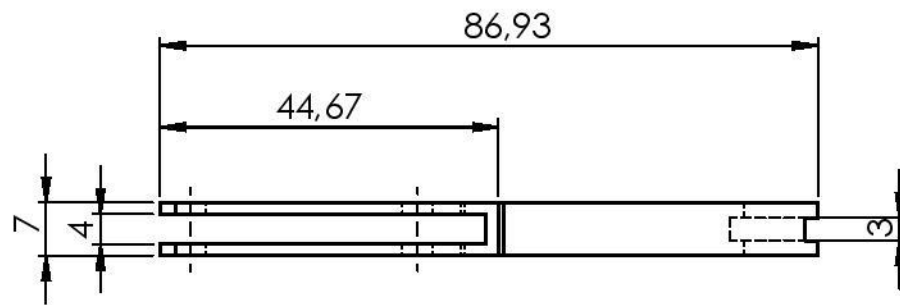
Modul $m = 1$
 Hammaste arv $N = 16$

	<i>Materjal:</i>		<i>Näitamata piirhálbed:</i>	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i>
	<i>Akrüültriilbutadieenistüreen</i>		<i>ISO 2768 - C</i>	<i>0,001 kg</i>	<i>2:1</i>
	<i>Teostas</i>	<i>Richard Org</i>	<i>Nimetus:</i> <i>Haaratsi juhtvarb</i>		
	<i>Kontrollis</i>	<i>K. Soots, E. Jõgi</i>			
<i>Kinnitas</i>	<i>K. Soots, E. Jõgi</i>				
<i>EMÜ TS-TN</i>		<i>Leht:</i> <i>4/35</i>	<i>Tähis:</i> <i>TN 18/140434 A 06 01 D</i>		



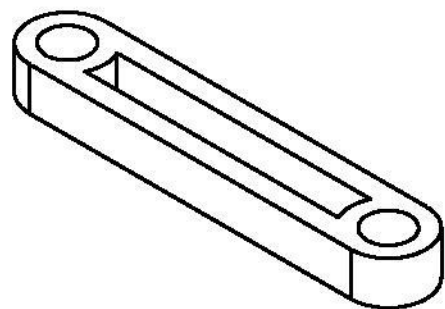
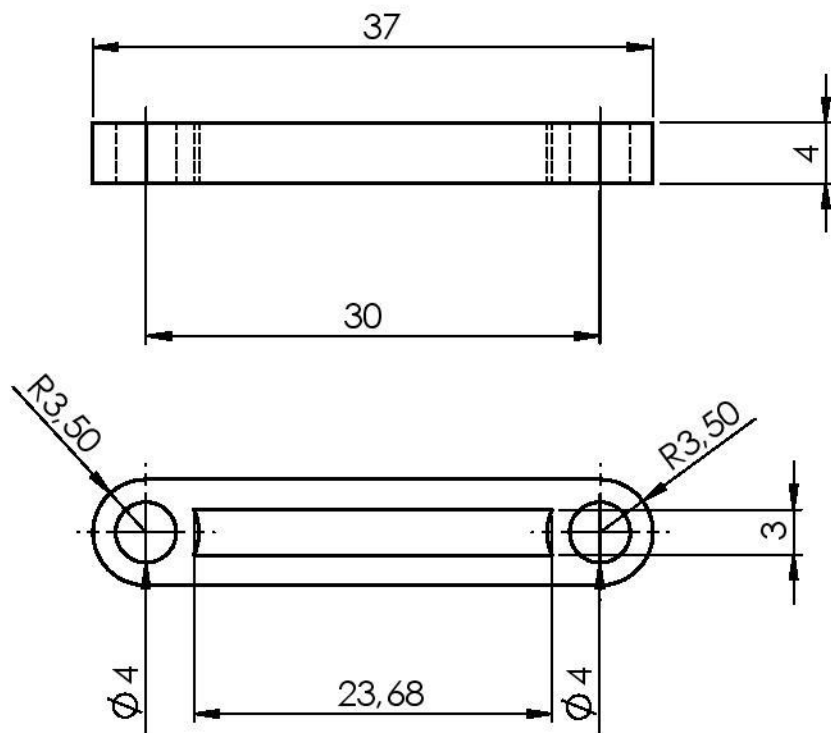
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitriilbutadieenstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,003 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Vasak haaratsi lüli		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 5/35	Tähis: TN 18/140434 A 02 05 D	



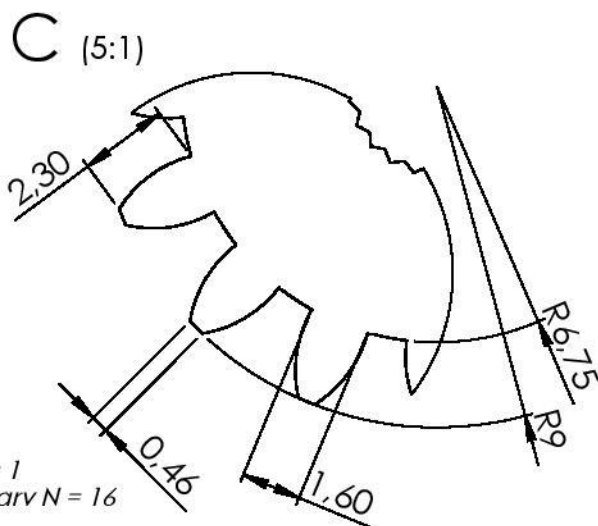
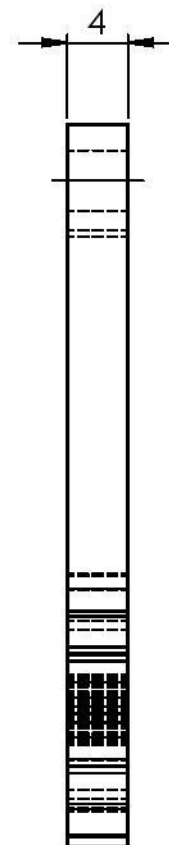
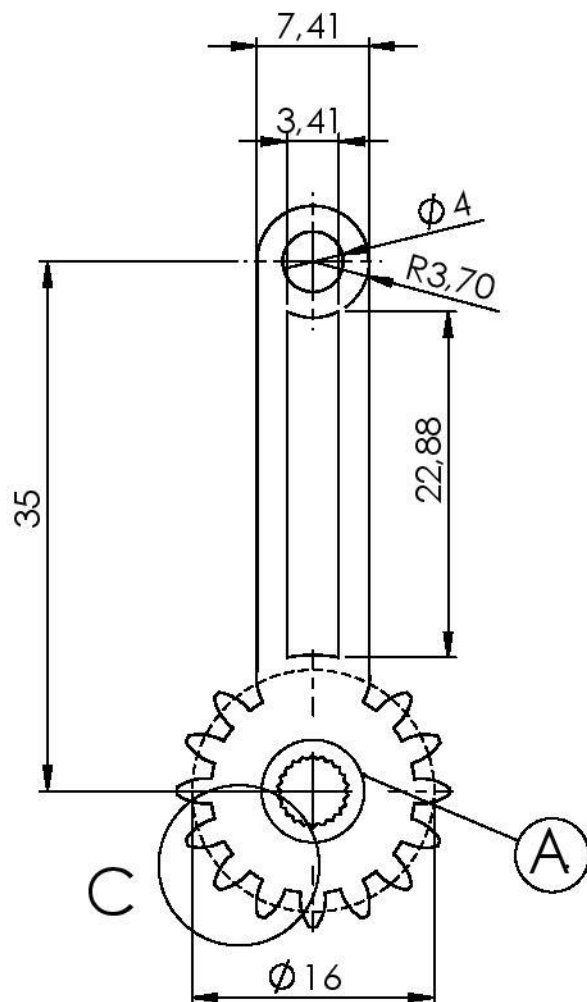
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitriilbutadieenstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,003 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Parem haaratsi lüli		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 6/35	Tähis: TN 18/140434 A 02 06 D	

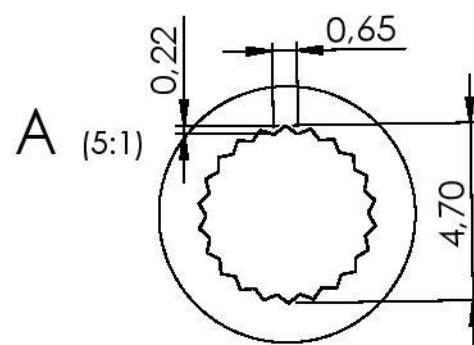


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitrilbutadienstüreen		Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 1×10^{-4} kg	Mõõt: 2:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Haaratsi varb			
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN		Leht: 7/35	Tähis: TN 18/140434 A 02 07 D		

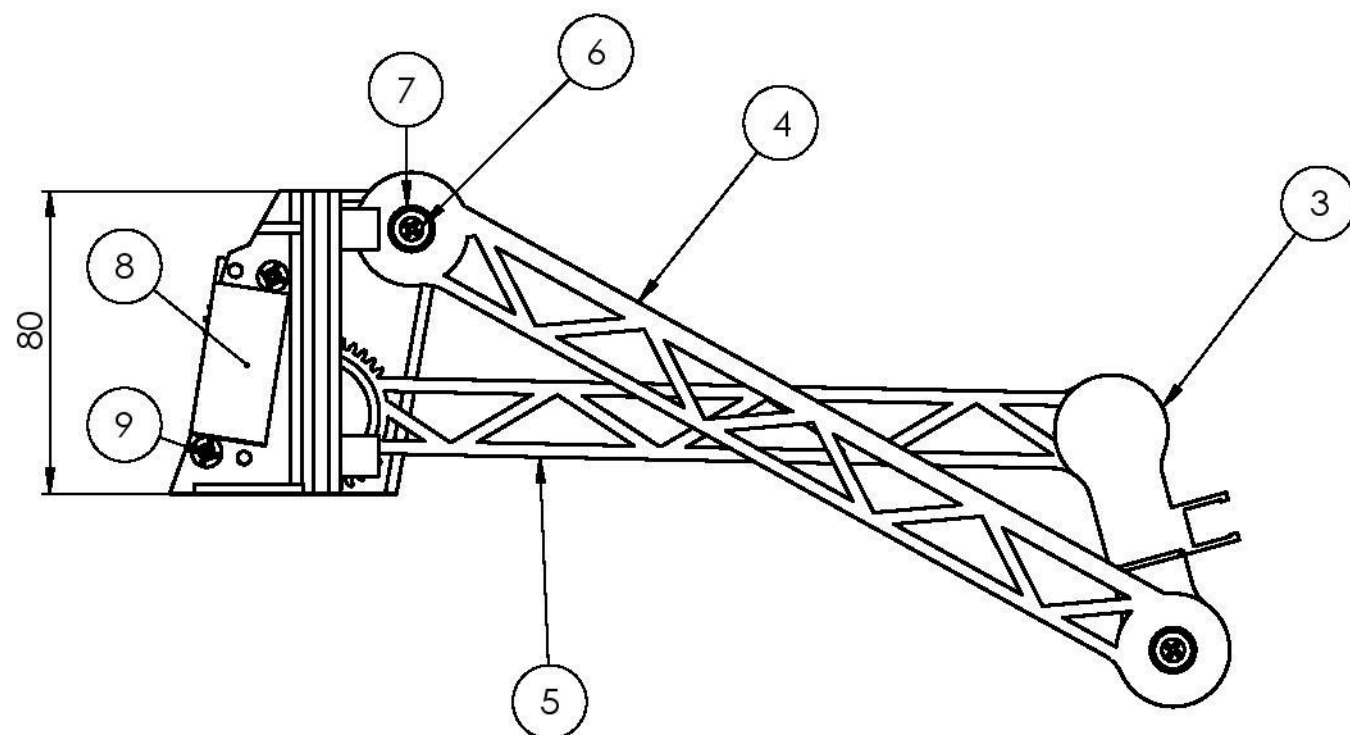
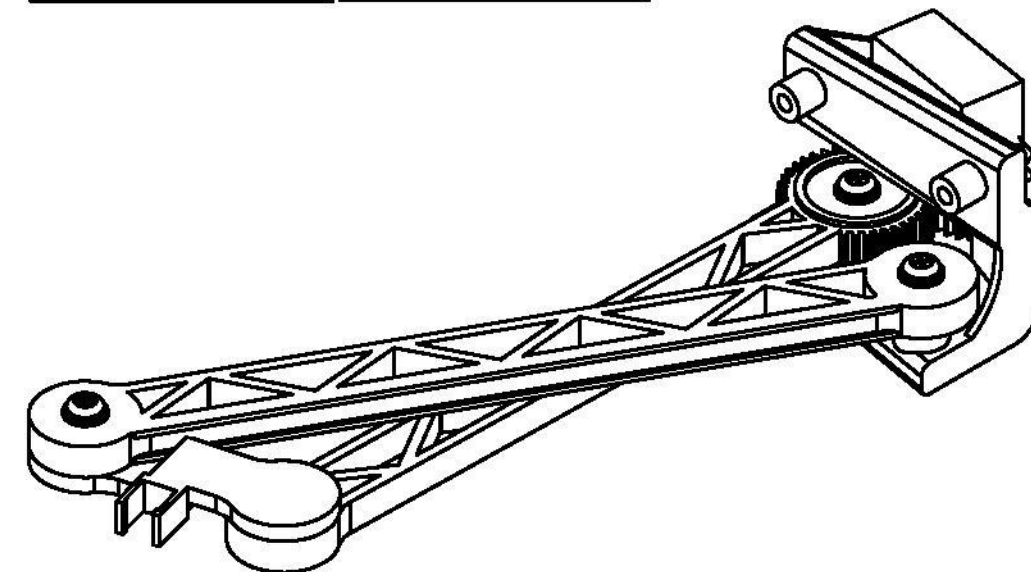
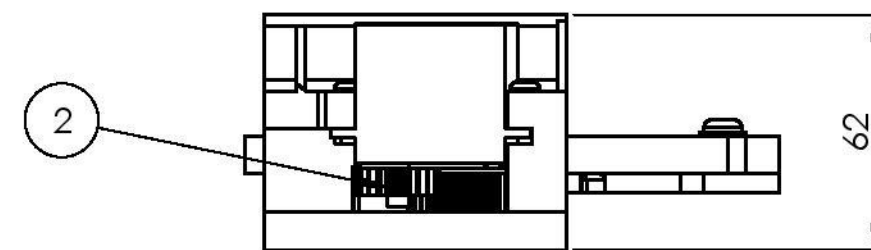
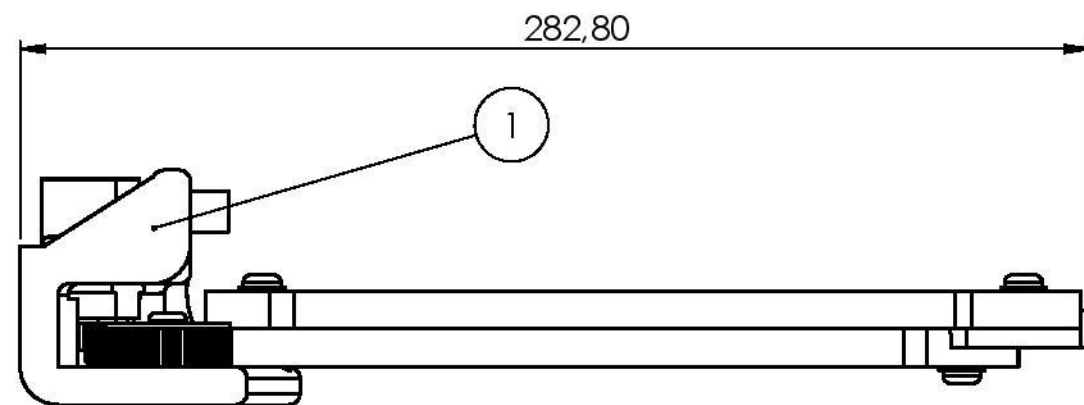



Modul $m = 1$
Hammaste arv $N = 16$

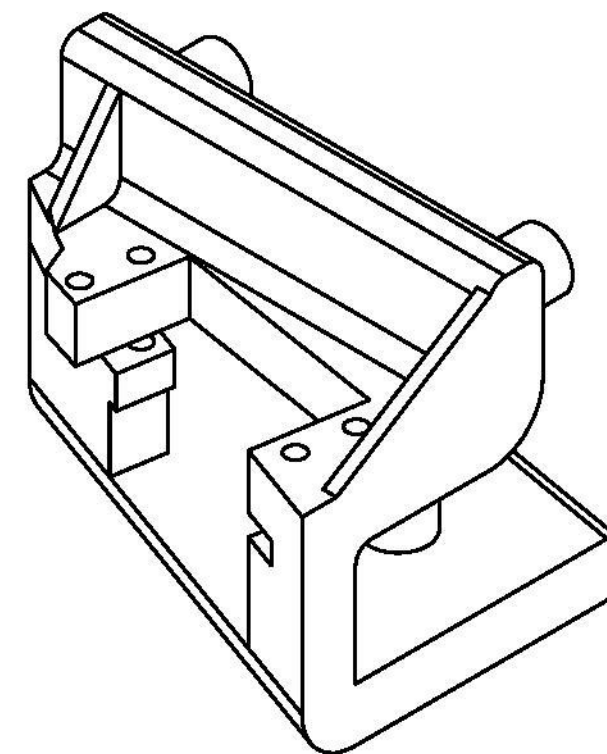
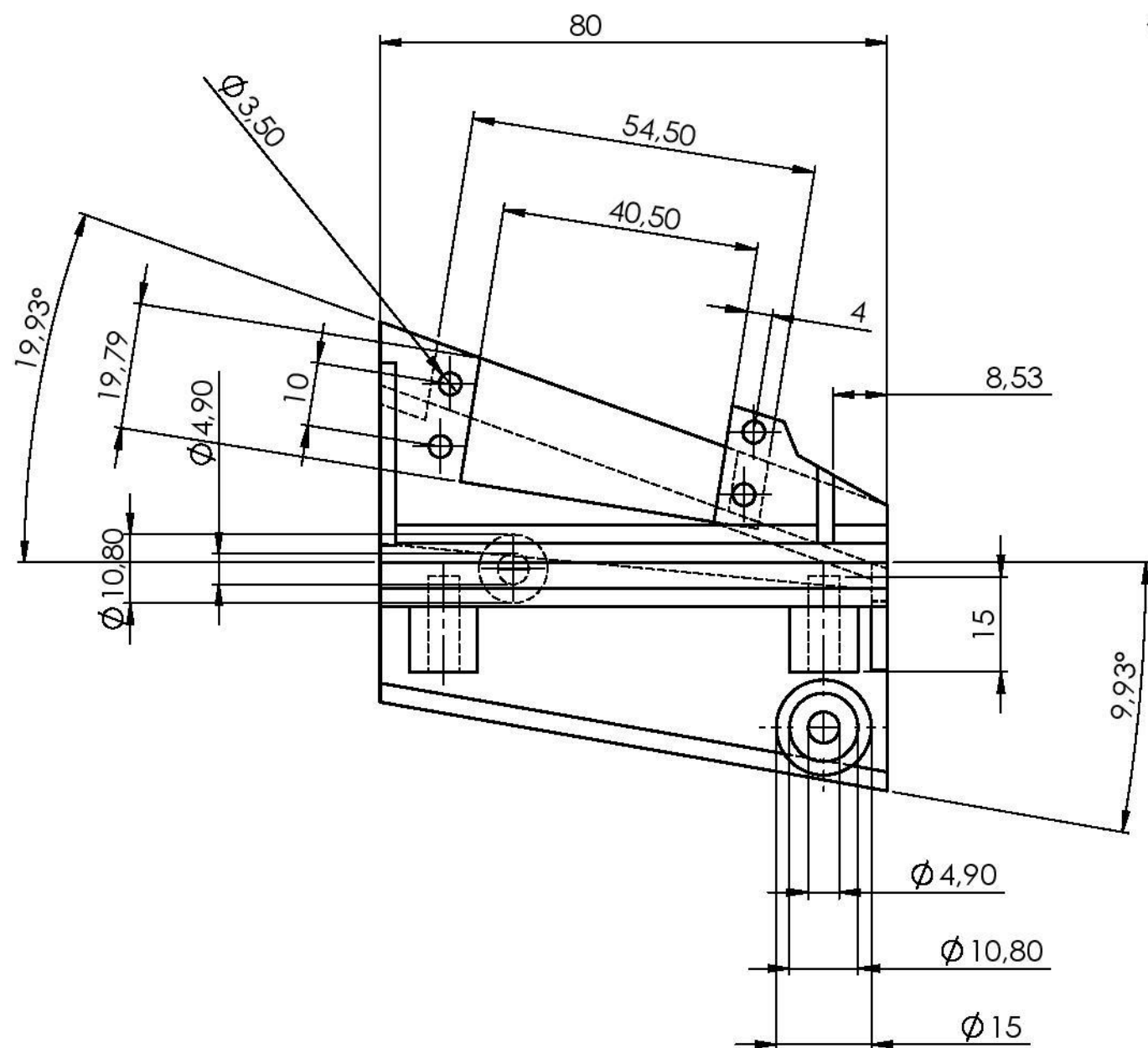
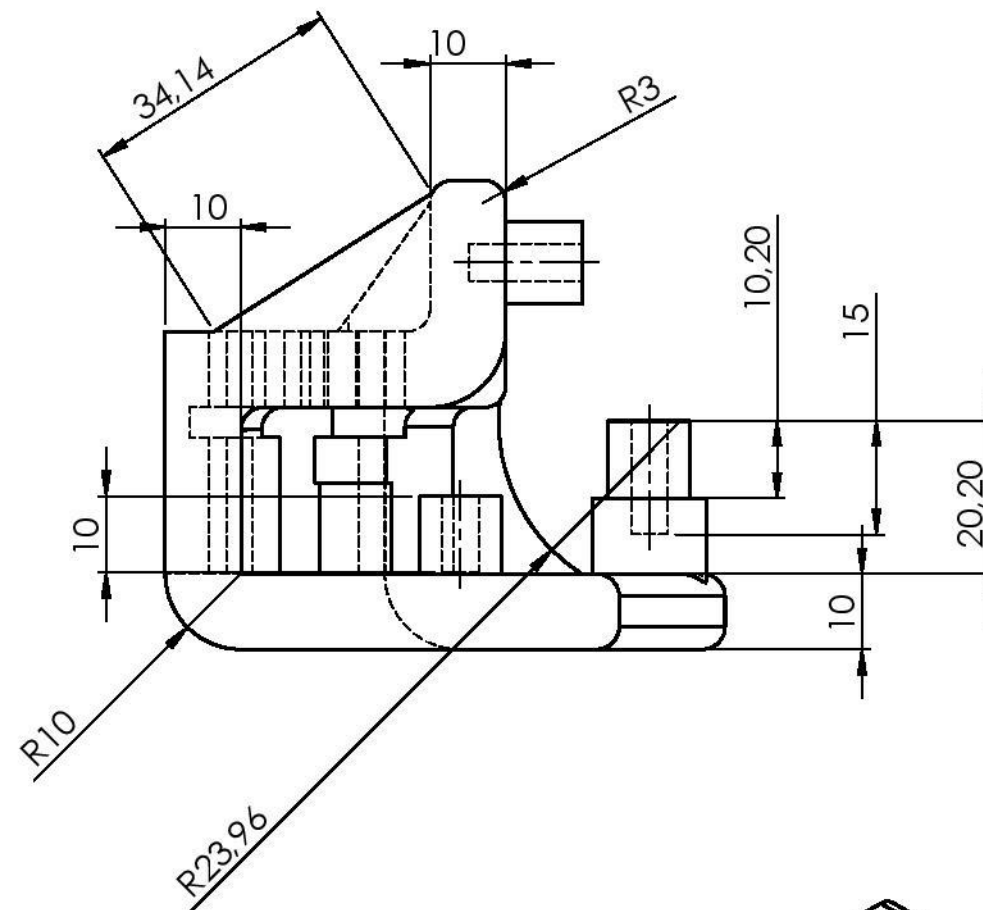
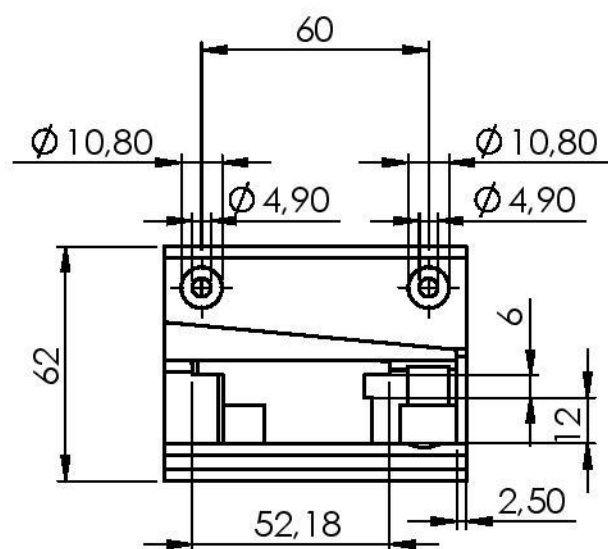


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogigaga

	Materjal: Akrüülnitriilbutadieenstüreen	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,001 kg	Mõõt: 2:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Haaratsi servomootori varb		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 8/35	Tähis: TN 18/140434 A 02 08 D	

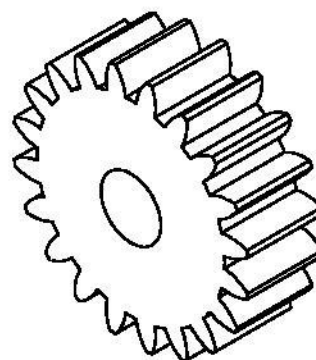
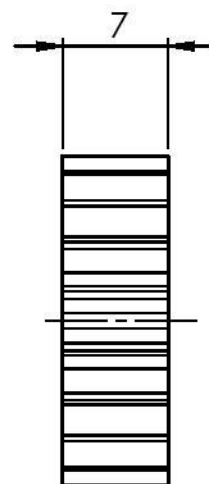
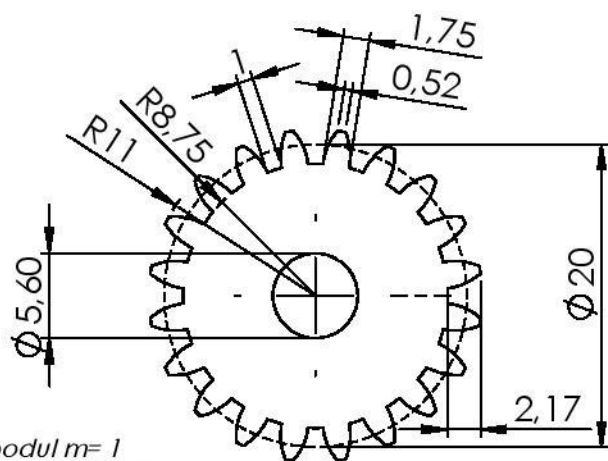


9		Metallkruvi ümarpea M4x15	DIN 7985	2	
8		Servomootor MG966R		1	
7		Lameseib M6 keermele	DIN 125	4	
6		Metallkruvi ümarpea M5x10	DIN 7985	4	
5		Küünarvarre juhtvarb	TN 18/140434 A 03 05 D	1	
4		Pikk varb	TN 18/140434 A 03 04 D	1	
3		Vahevarb	TN 18/140434 A 03 03 D	1	
2		Hammasratas 1	TN 18/140434 A 03 02 D	1	
1		Küünarligend	TN 18/140434 A 03 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,25 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org		Küünarvarre koostejoonis		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN			Leht: 9/35	Tähis: TN 18/140434 A 03 00 K	



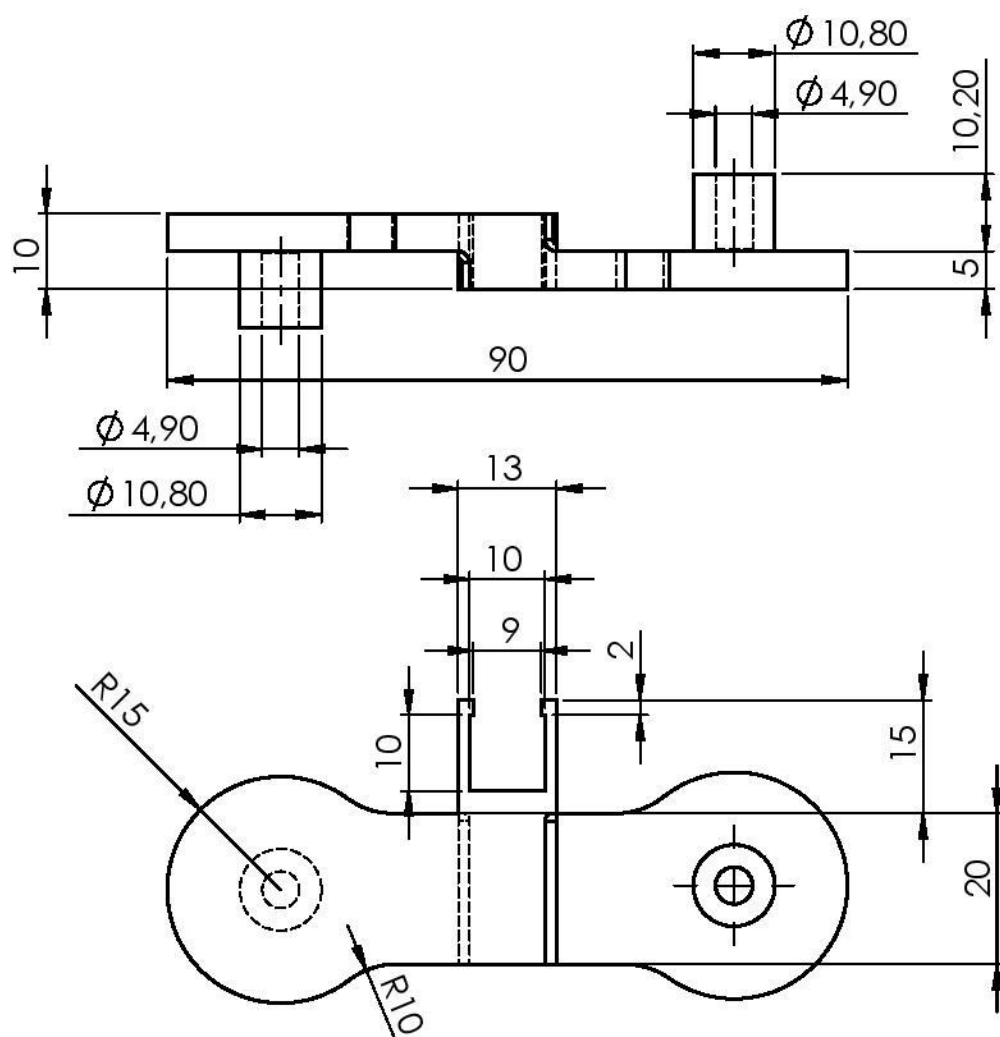
	Materjal:		Nähtamata piirhälbed:	Mass:	Mööd:
	Akrüülitriilbutadienstüreen		ISO 2768 - C	0,11 kg	1:1
	Teostas	Richard Org	Küünarliigend		
	Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
	Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht:	Tähis:		
		10/35	TN 18/140434 A 03 01 D		

Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga



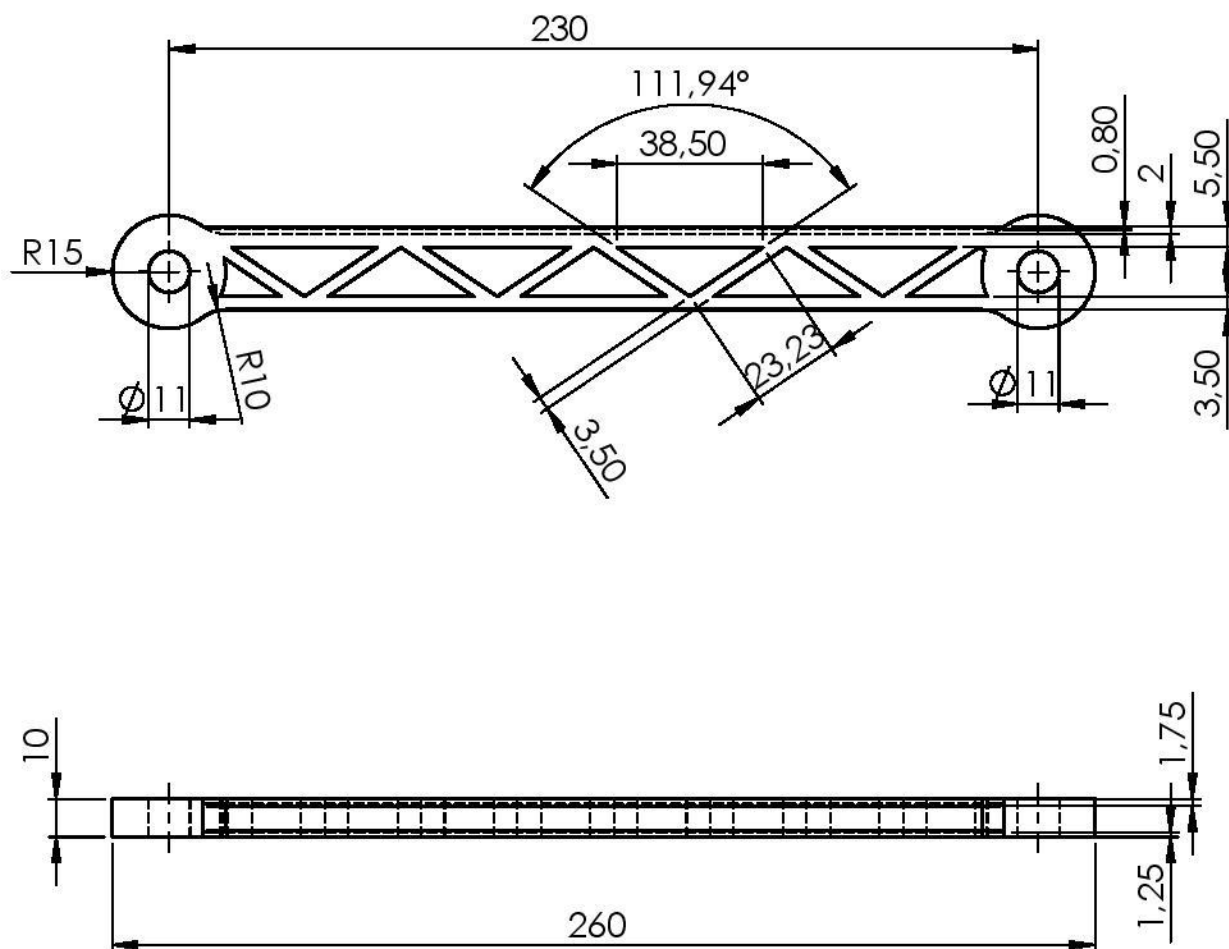
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitriilbutadieenstüreen	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,002 kg	Mõõt: 2:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Hammasratas I		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 11/35	Tähis: TN 18/140434 A 03 02 D	



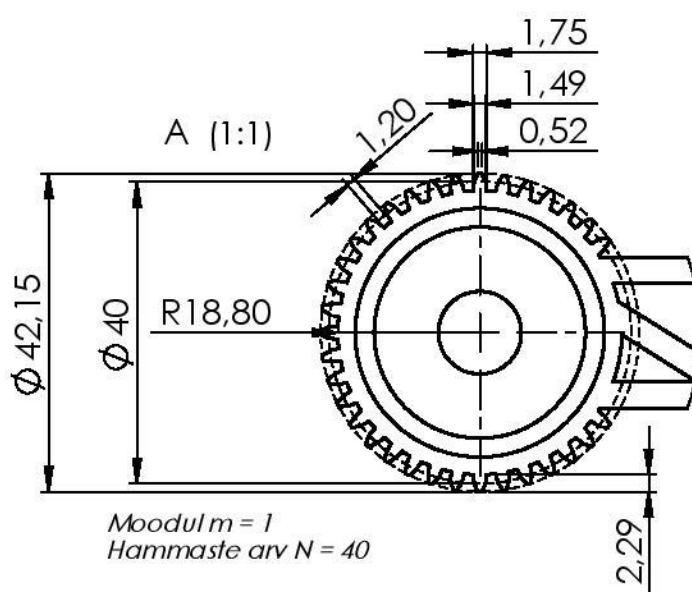
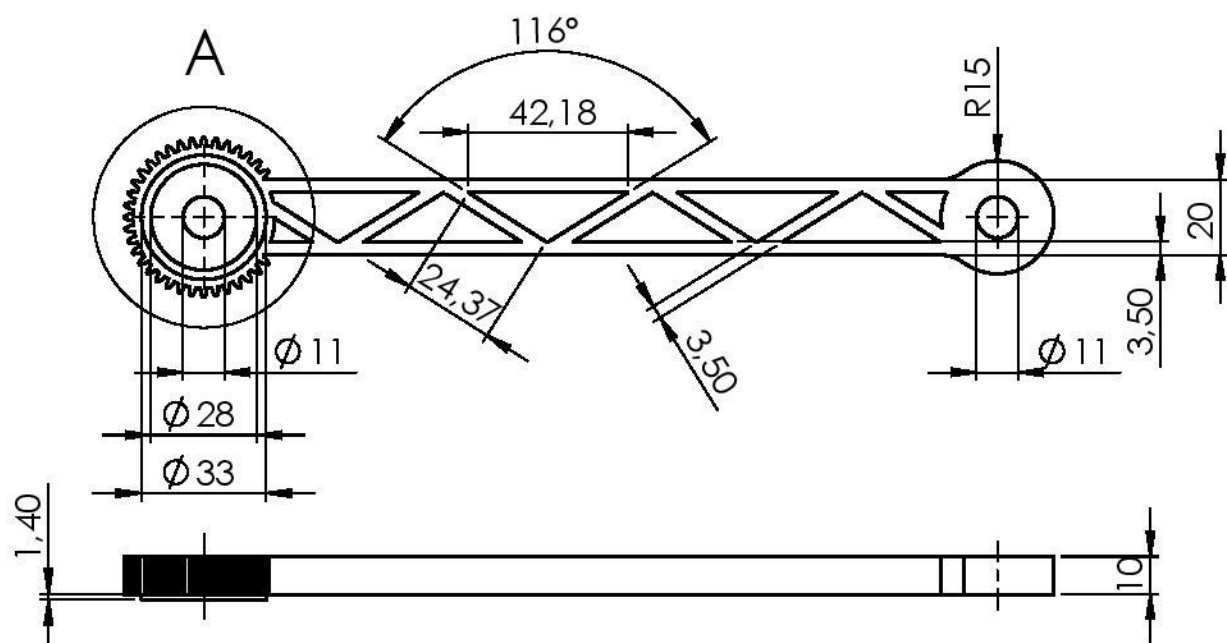
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitrilbutadieenstüreen	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,02 kg	Mööd: 1:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Vahevarb		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 12/35	Tähis: TN 18/140434 A 03 03 D	



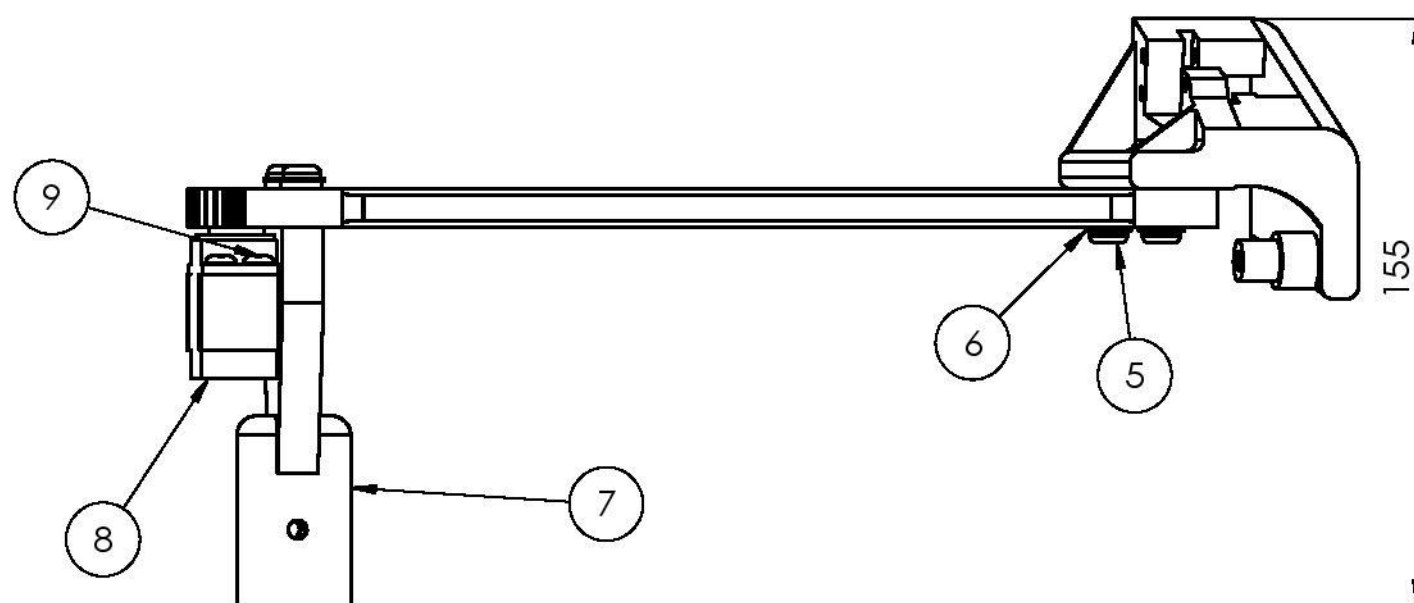
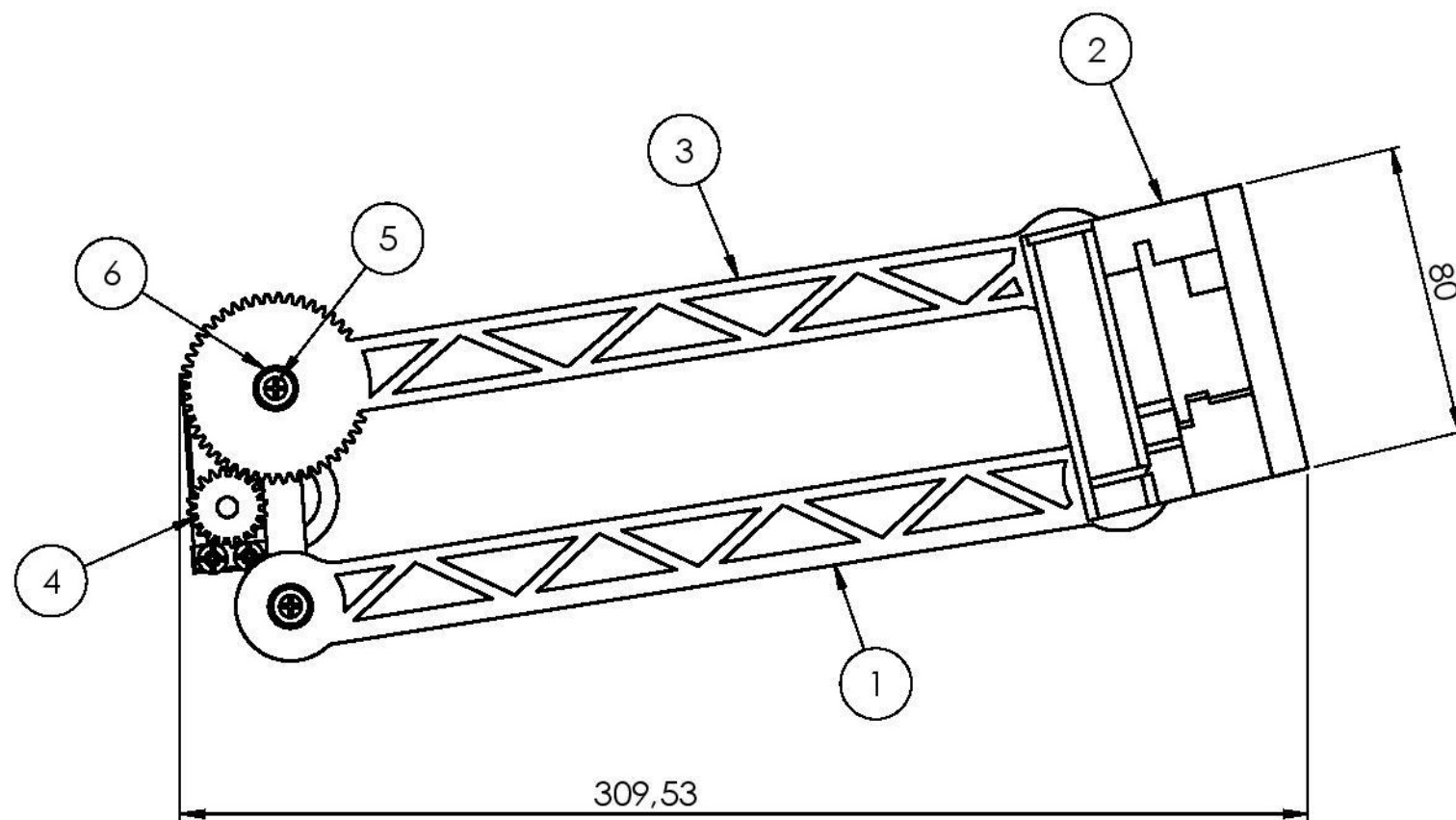
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	<p>Materjal:</p> <p>Akrüülnitrilbutadienstüreen</p>	<p>Näitamata piirhálbed:</p> <p>ISO 2768 - C</p>	<p>Mass:</p> <p>0,04 kg</p>	<p>Mööd:</p> <p>1:2</p>
Teostas	Richard Org	<p>Nimetus:</p> <p>Pikk varb</p>		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
<p>EMÜ TS-TN</p>		<p>Leht:</p> <p>13/35</p>	<p>Tähis:</p> <p>TN 18/140434 A 03 04 D</p>	

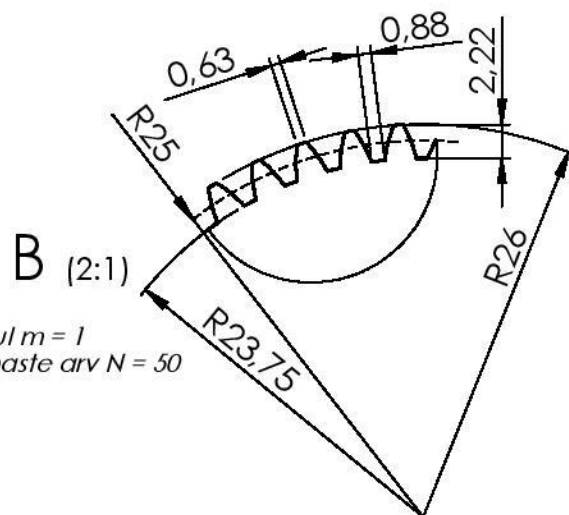
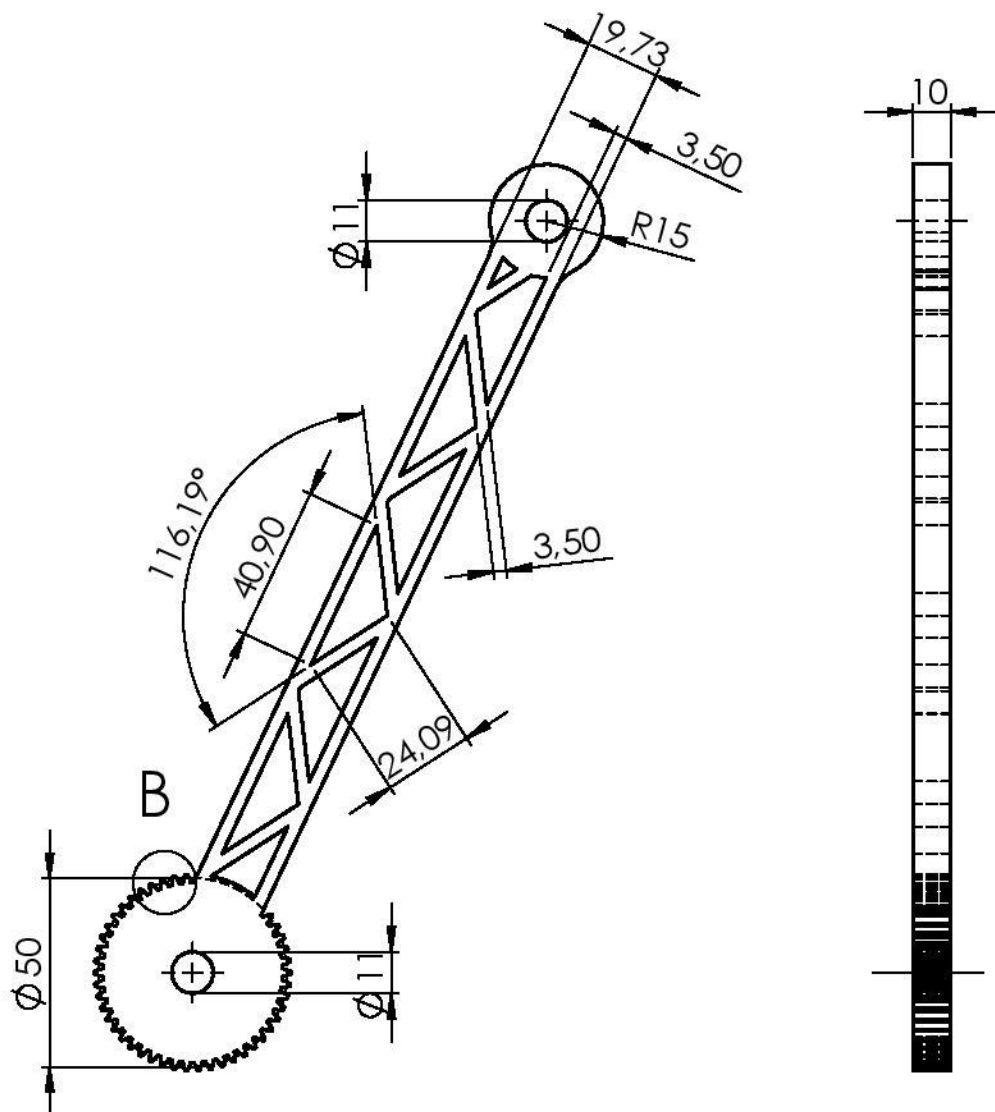


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitriilbutadieenstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,04 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Küünarvarre juhtvarb		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 14/35	Tähis: TN 18/140434 A 03 05 D	

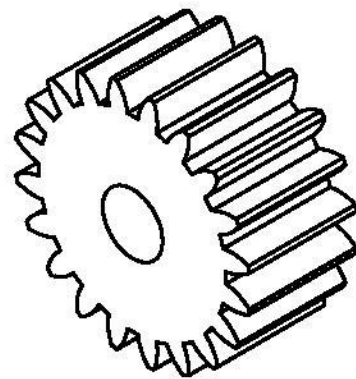
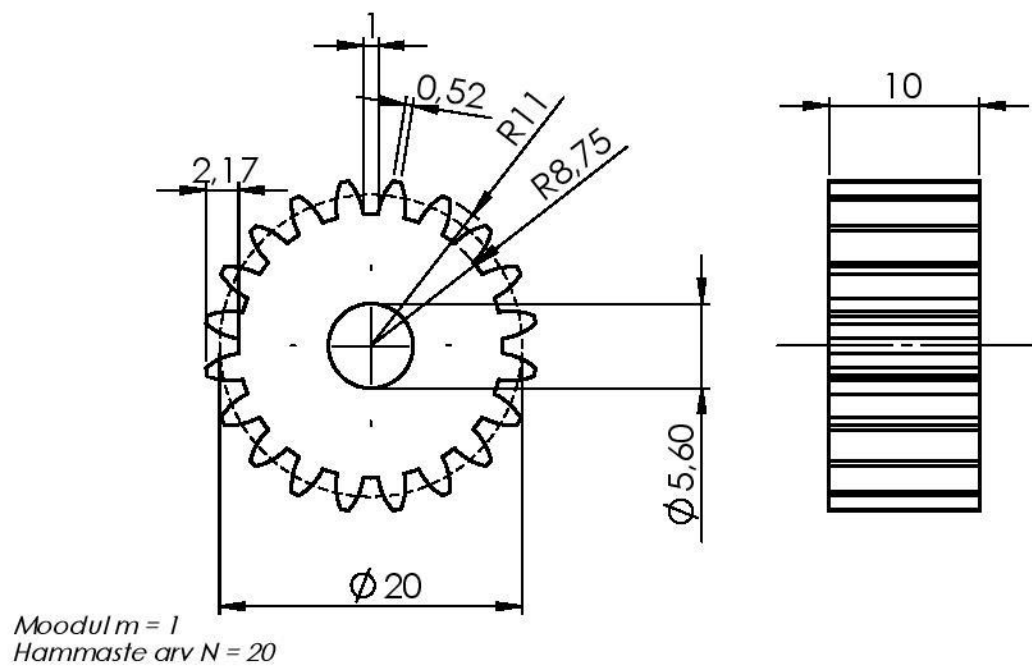


9		Metallkrugi ümarpea M4x15	DIN 7985	4	
8		Servomootor MG966R		1	
7		Parem õlaligend	TN 18/140434 A 04 07 D	1	
6		Lameseib M6 keermele	DIN 125	4	
5		Metallkrugi ümarpea M5x10	DIN 7985	4	
4		Hammasratas 2	TN 18/140434 A 04 04 D	1	
3		Õlavarre juhtvarb	TN 18/140434 A 04 03 D	1	
2		Küünarligend	TN 18/140434 A 03 01 D	1	
1		Pikk varb	TN 18/140434 A 03 04 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,34 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Õlavarre koostejoonis			
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN		Leht: 15/35	Tähis: TN 18/140434 A 04 00 K		



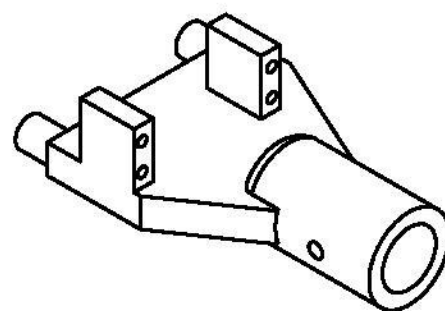
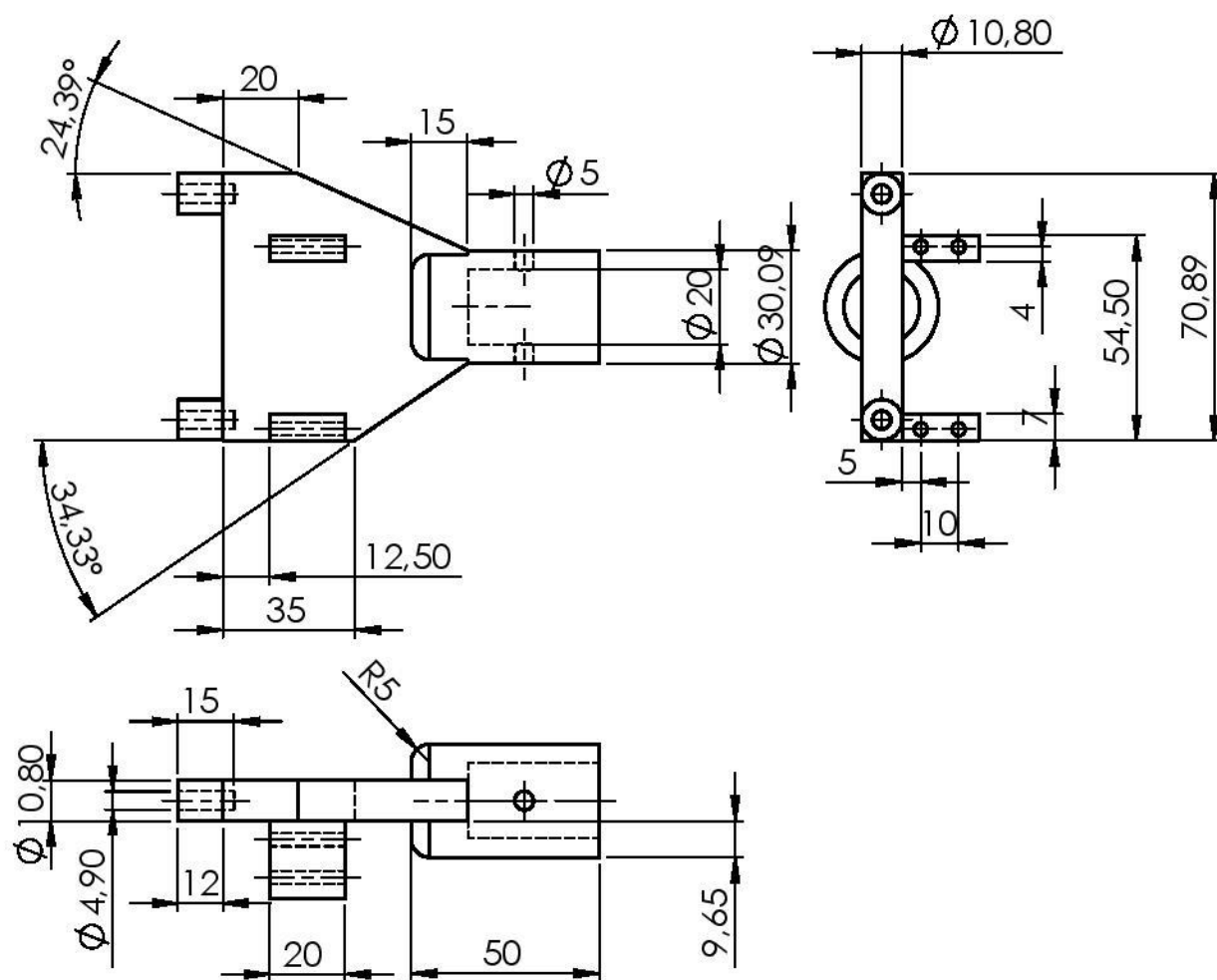
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitrilbutadieenstüreen	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,05 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Õlavarre juhtvarb		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 16/35	Tähis: TN 18/140434 A 04 03 D	



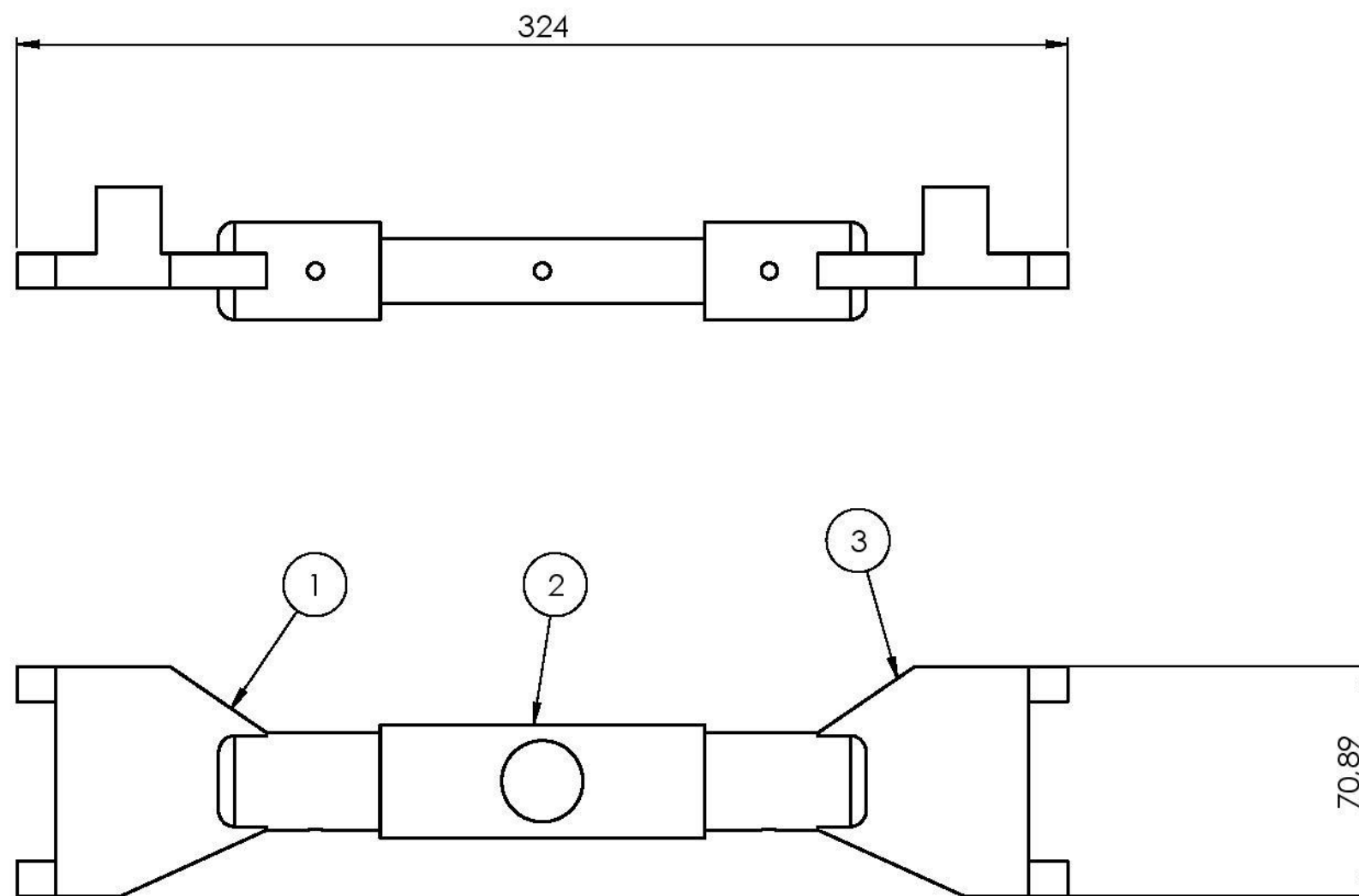
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga


	Materjal:	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - C	Mass: $1 \times 10^{-4} \text{ kg}$	Mõõt: 2:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Hammasratas 2		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 17/35	Tähis: TN 18/140434 A 04 04 D	

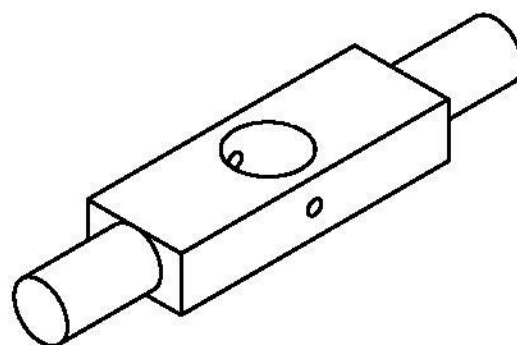
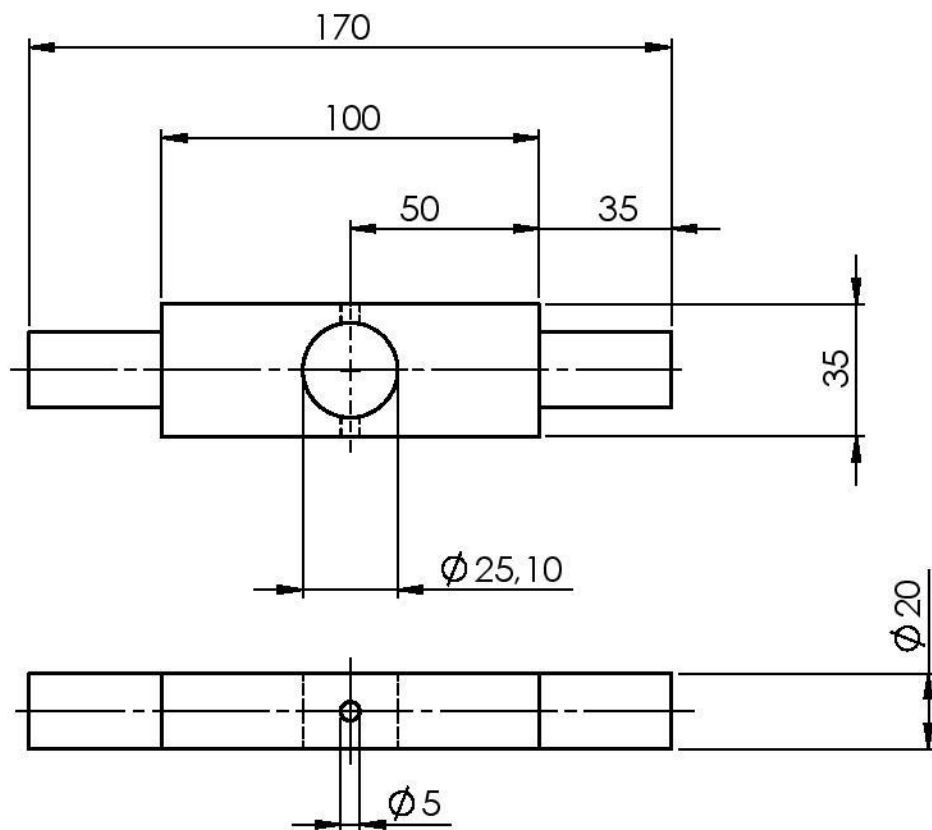


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüünitriilbutadieenstüreen	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,09 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Parem õlalligend		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 18/35	Tähis: TN 18/140434 A 04 07 D	

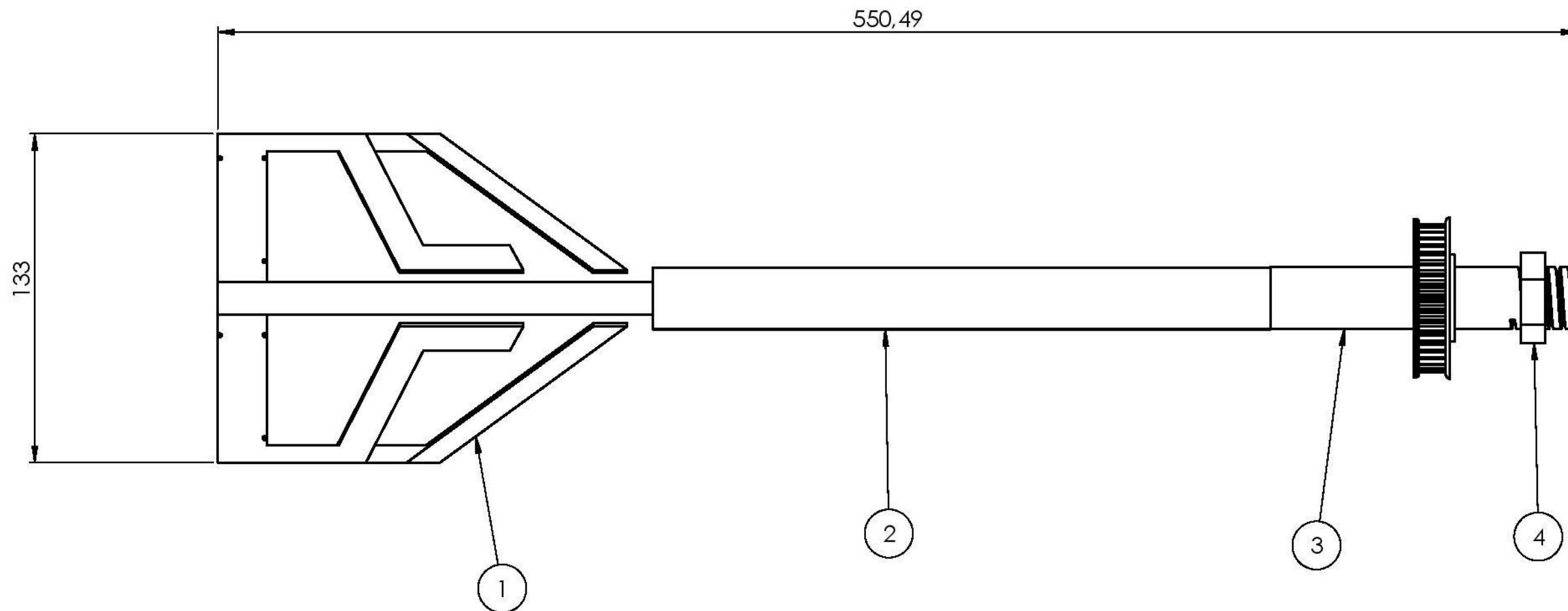


3		Vasak õlaliigend	TN 18/140434 A 05 03 D	1	
2		Rangluu	TN 18/140434 A 05 02 D	1	
1		Parem õlaliigend	TN 18/140434 A 04 07 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhällbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,25 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Richard Org		Õlgade koostejoonis		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN			Leht: 19/35	Tähis: TN 18/140434 A 05 00 K	

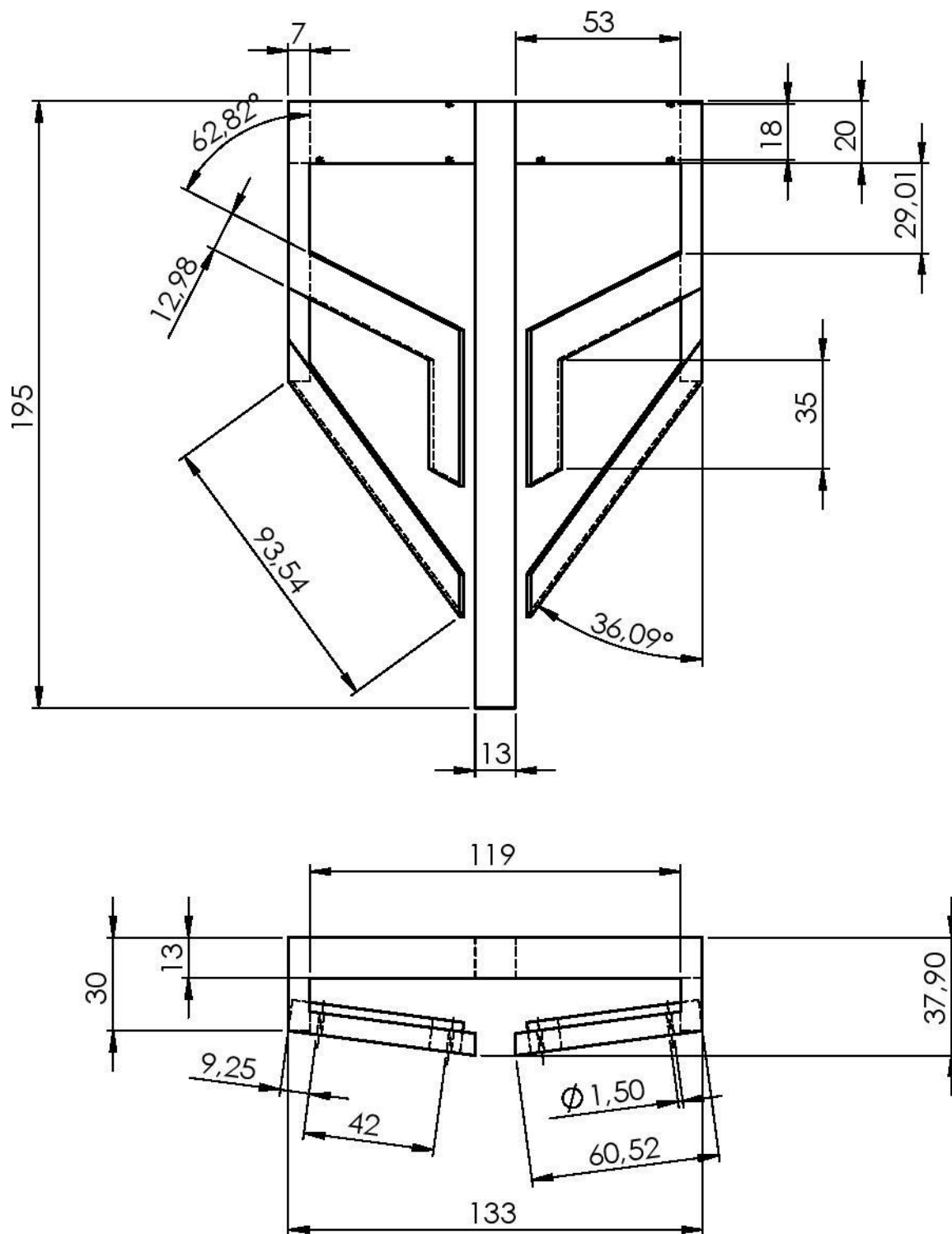


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitrilbutadienstüreen	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,08 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Rangluu		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 20/35	Tähis: TN 18/140434 A 05 02 D	

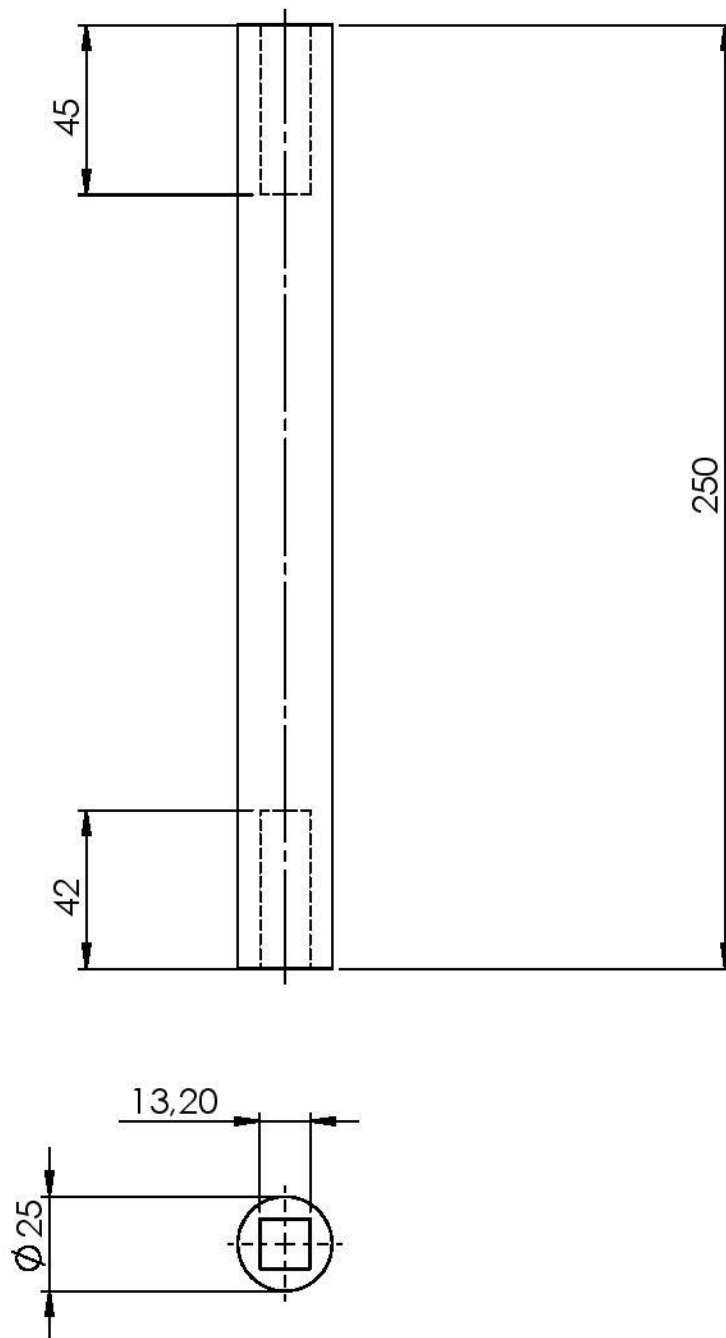


4		Kesktele kinnitusmutter	TN 18/140434 A 06 04 D	1	
3		Kesktele jalg	TN 18/140434 A 06 03 D	1	
2		Kesktele pikendus	TN 18/140434 A 06 02 D	1	
1		Pea	TN 18/140434 A 06 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,35 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Kesktele koostejoonis			
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN		Leht: 22/35	Tähis: TN 18/140434 A 06 00 K		



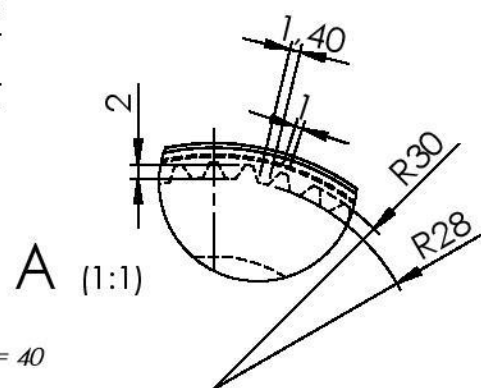
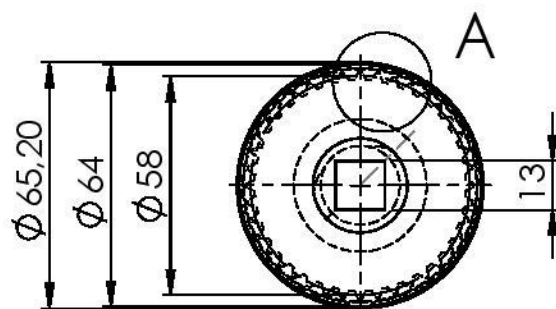
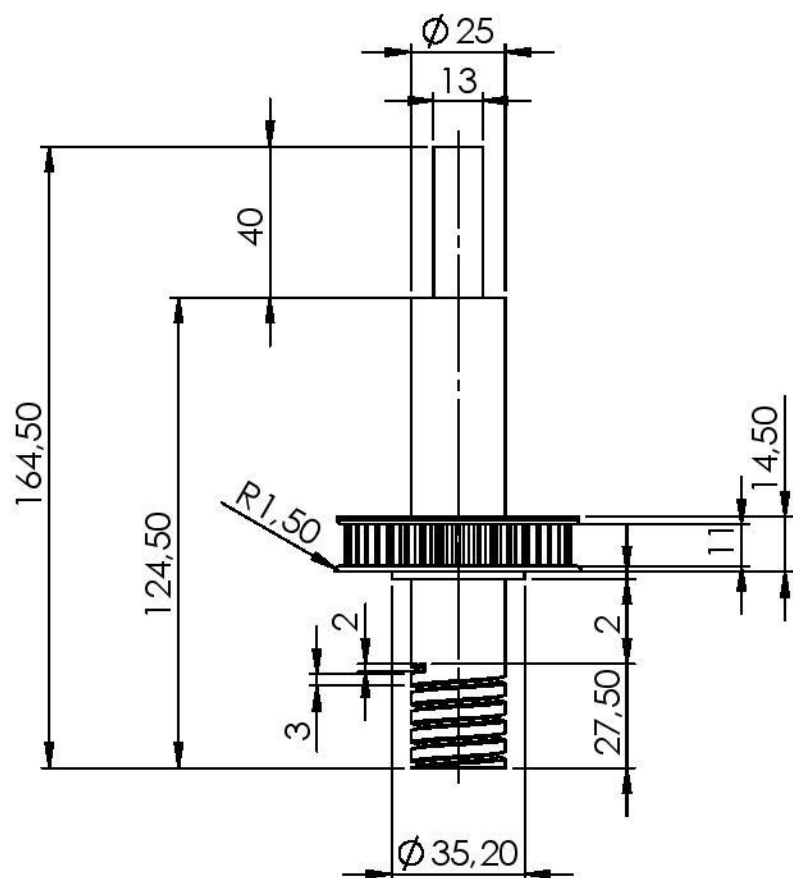
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülniitrilbutadienstüreen		Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,14 kg	Mööd: 1:2
	Teostas	Richard Org	Pea		
	Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
	Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 23/35	Tähis: TN 18/140434 A 06 01 D		



Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

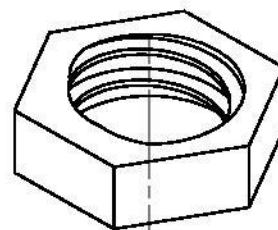
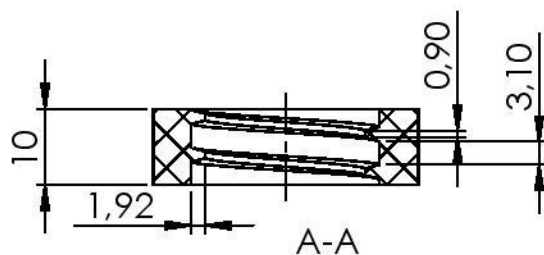
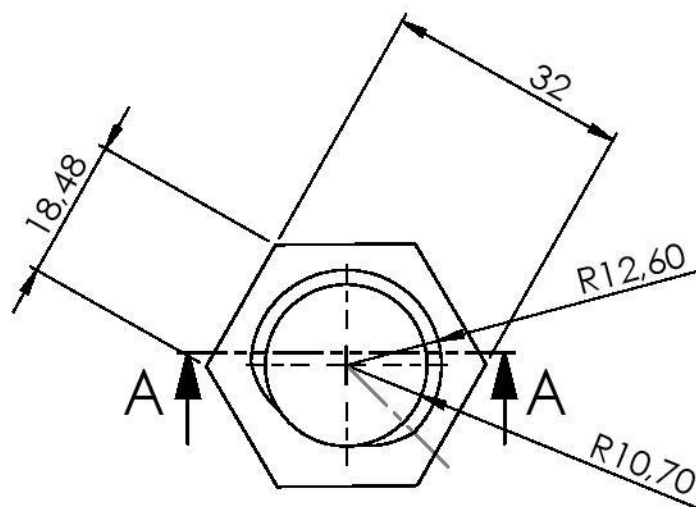
	<p>Materjal:</p> <p>Akrüülnitrilbutadieenstüreen</p>	<p>Näitamata piirhálbed:</p> <p>ISO 2768 - C</p>	<p>Mass:</p> <p>0,1 kg</p>	<p>Mööd:</p> <p>1:2</p>
Teostas	Richard Org	<p>Nimetus:</p> <p>Keskteleje pikendus</p>		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
<p>EMÜ TS-TN</p>		<p>Leht:</p> <p>24/35</p>	<p>Tähis:</p> <p>TN 18/140434 A 06 02 D</p>	



Modul $m = 1,45$
Hammaste arv $N = 40$

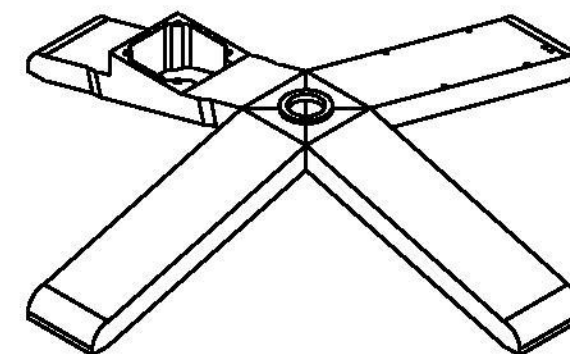
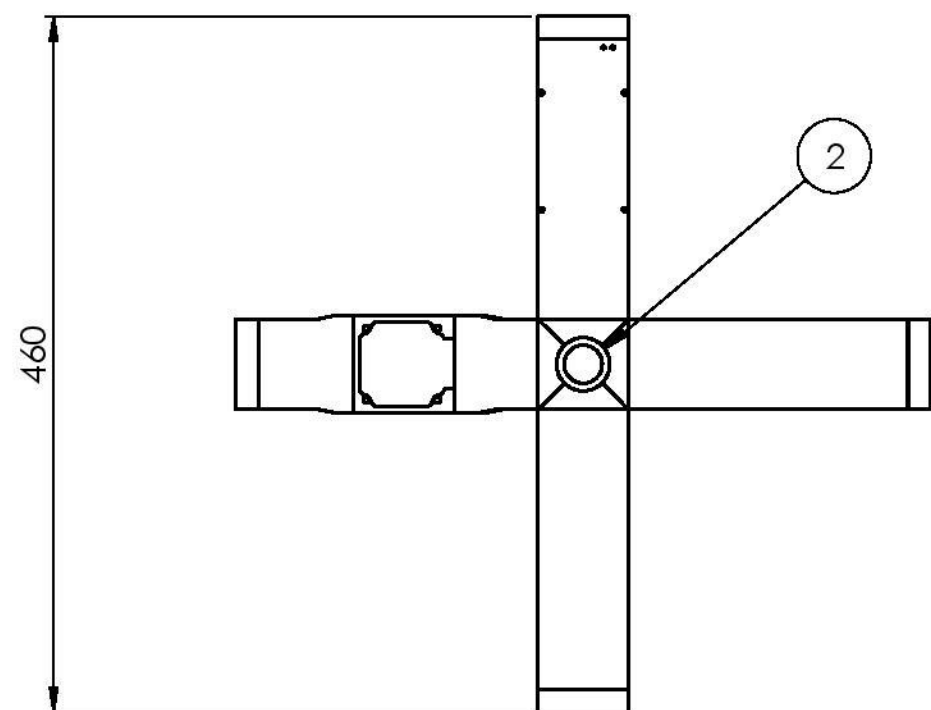
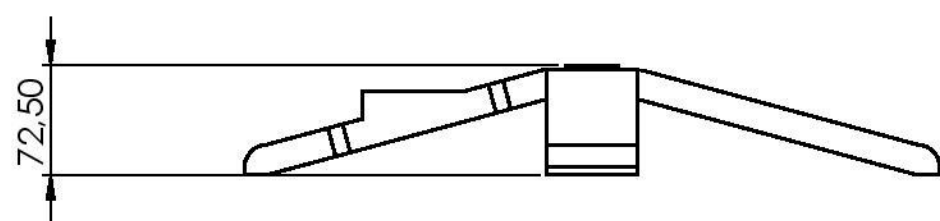
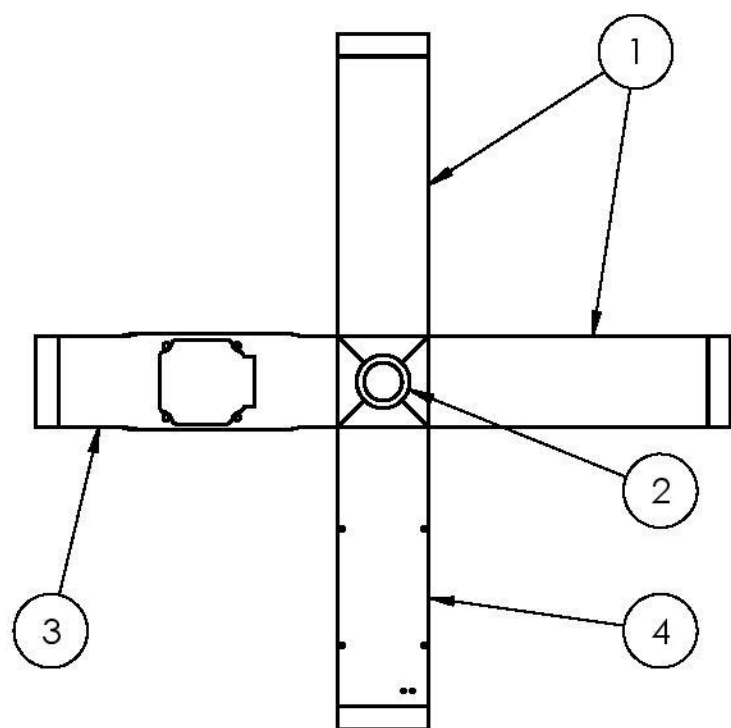
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

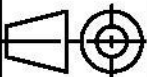
	Materjal: Akrüülnitrilbutadieenstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,1 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Keskteleje jalg		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 25/35	Tähis: TN 18/140434 A 06 03 D	

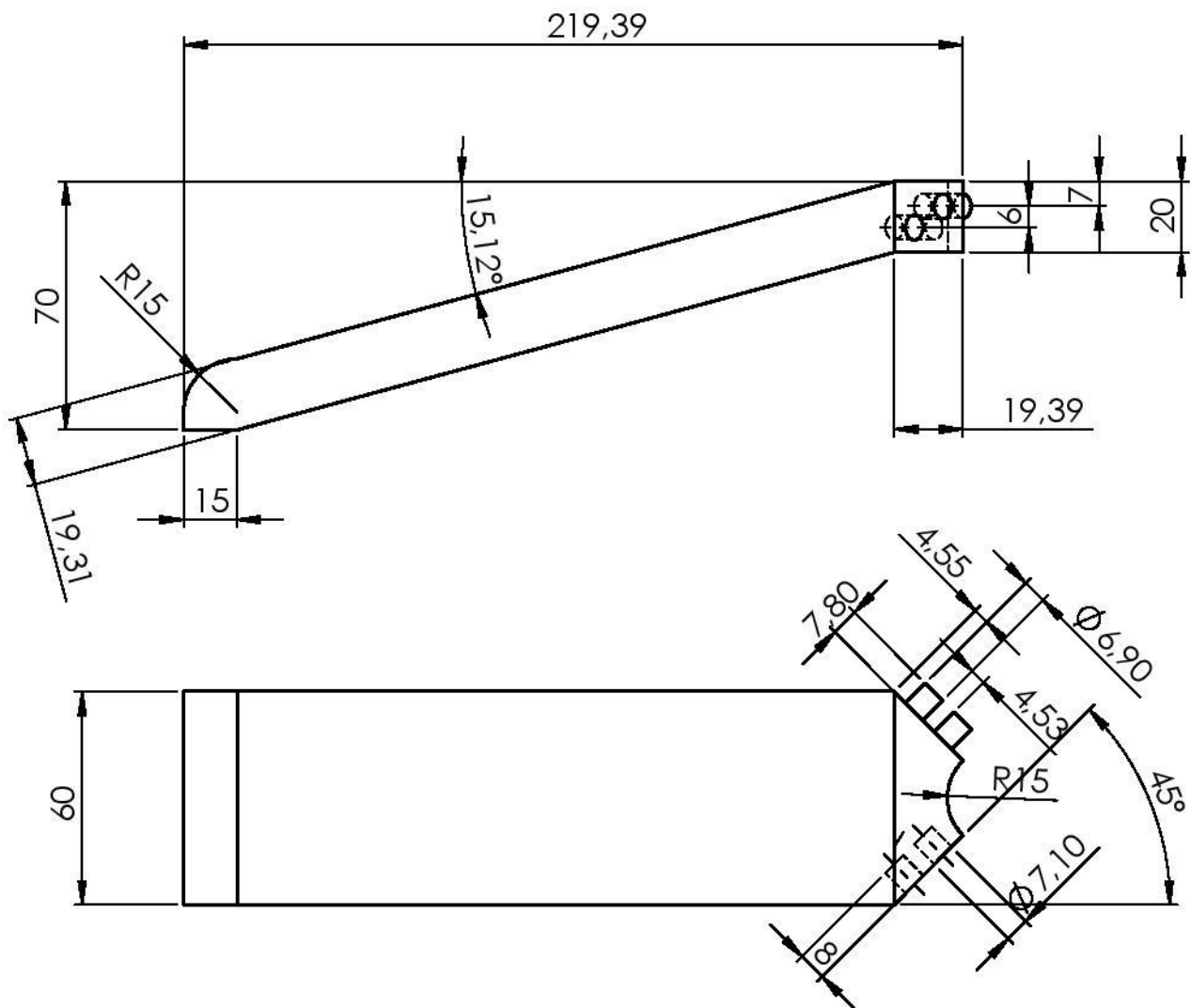


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüülnitriilbutadienstüreen	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,001 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Kesktelje kinnitusmutter		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 26/35	Tähis: TN 18/140434 A 06 04 D	

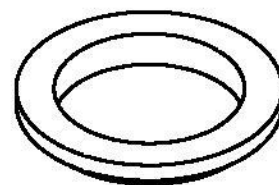
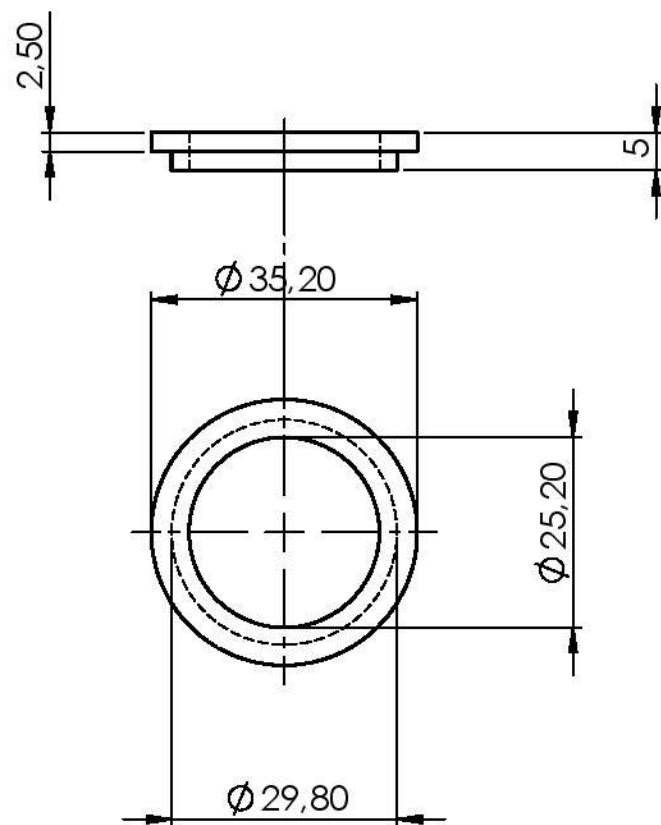


4		Aluse jalg PCB-le	TN 18/140434 A 07 04 D	1	
3		Aluse jalg samm-mootorile	TN 18/140434 A 07 03 D	1	
2		Kesktele seib	TN 18/140434 A 07 02 D	2	
1		Aluse jalg	TN 18/140434 A 07 01 D	2	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal: Akrüülhitrilbutadieenstüreen	Näitamata piirhälbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,98 kg	Mõõt: 1:5
Teostas	Richard Org		Aluse koostejoonis		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN			Leht: 27/35	Tähis: TN 18/140434 A 07 00 K	



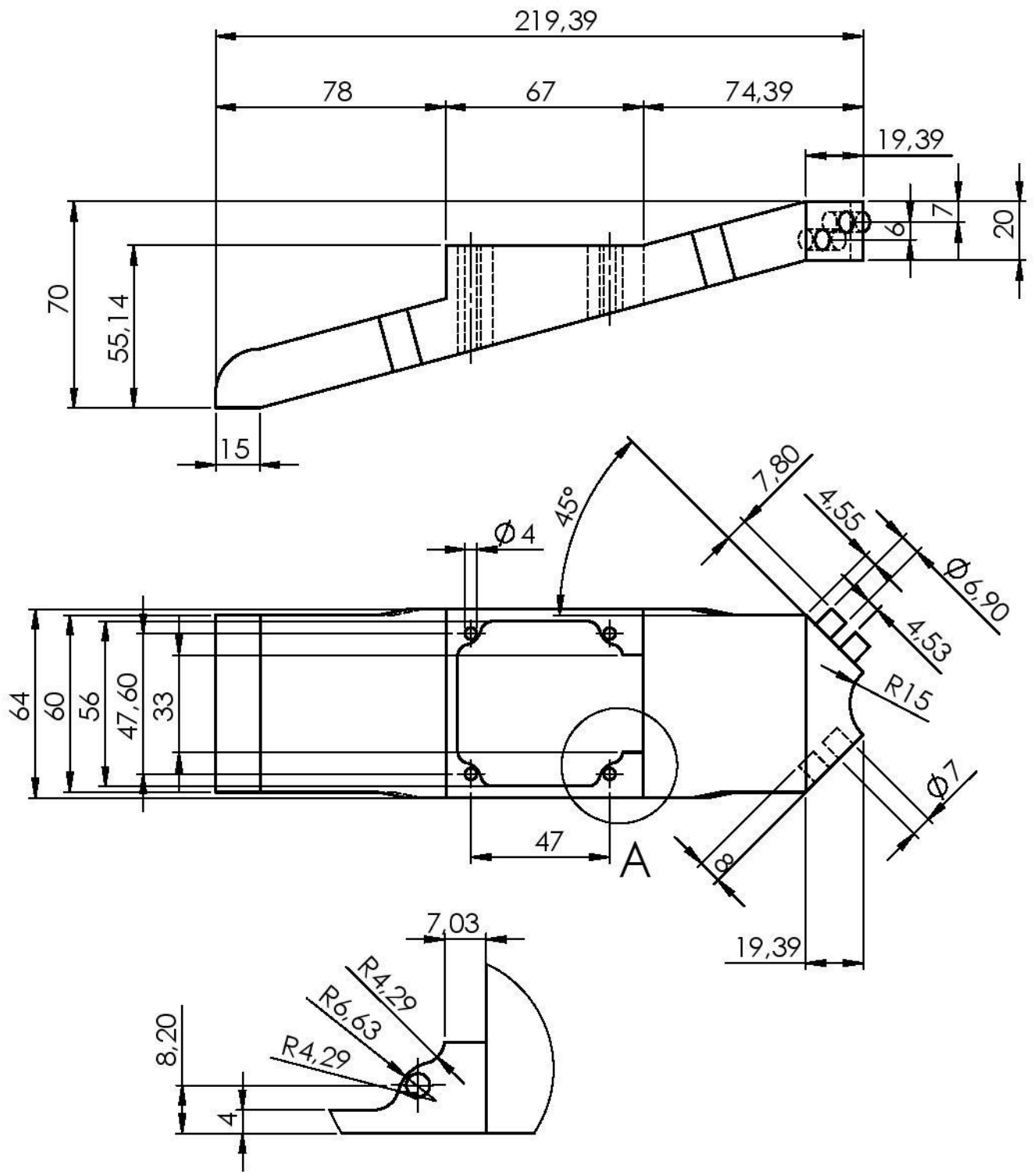
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	<p>Materjal:</p> <p>Akrüülnitrilbutadieenstüreen</p>	<p>Näitamata piirhálbed:</p> <p>ISO 2768 - C</p>	<p>Mass:</p> <p>0,26 kg</p>	<p>Mööd:</p> <p>1:2</p>
Teostas	Richard Org	<p>Nimetus:</p> <p>Aluse jalg</p>		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
<p>EMÜ TS-TN</p>		<p>Leht:</p> <p>28/35</p>	<p>Tähis:</p> <p>TN 18/140434 A 07 01 D</p>	



Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

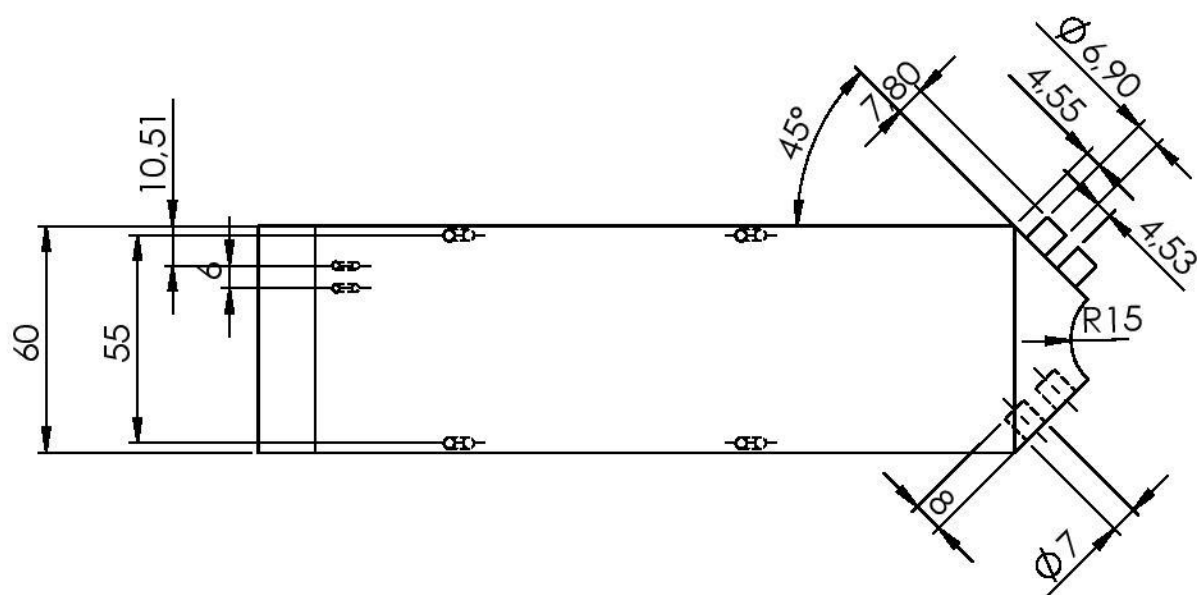
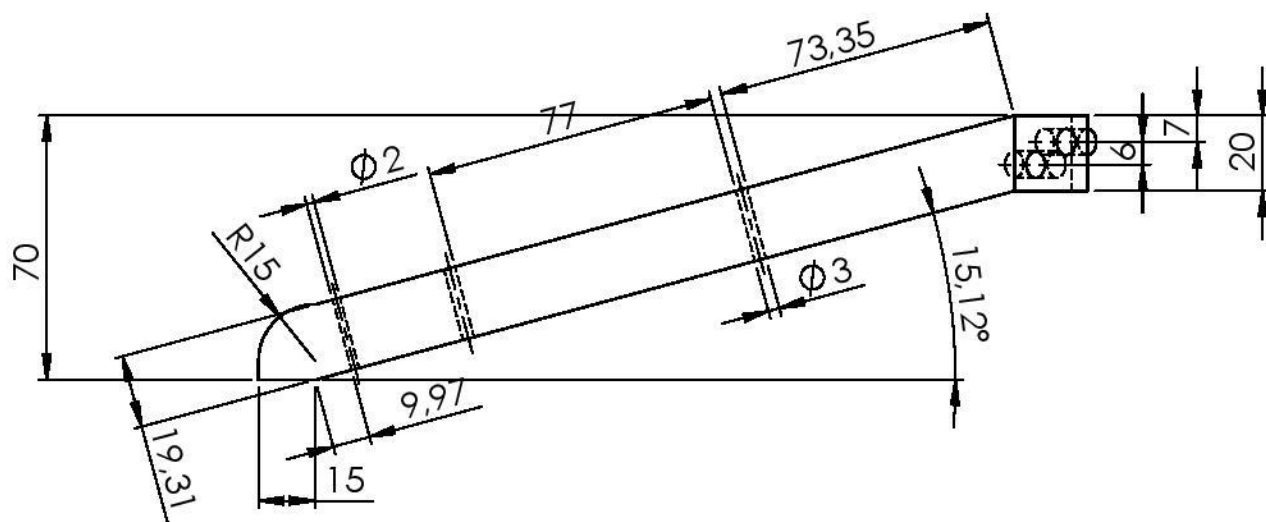
	Materjal: Akrüülnitrilbutadienstüreen	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - m	Mass: 0,001 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Keskteje seib		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 29/35	Tähis: TN 18/140434 A 07 02 D	



A (1:1)

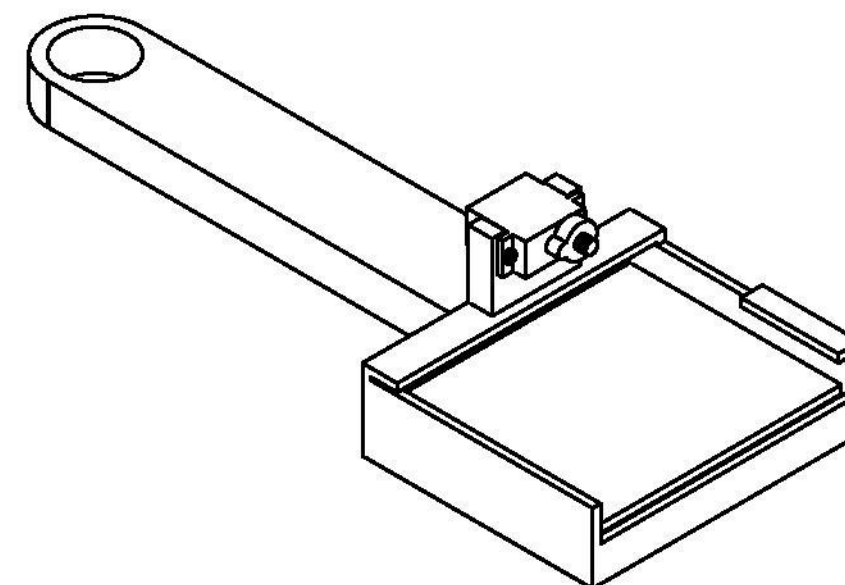
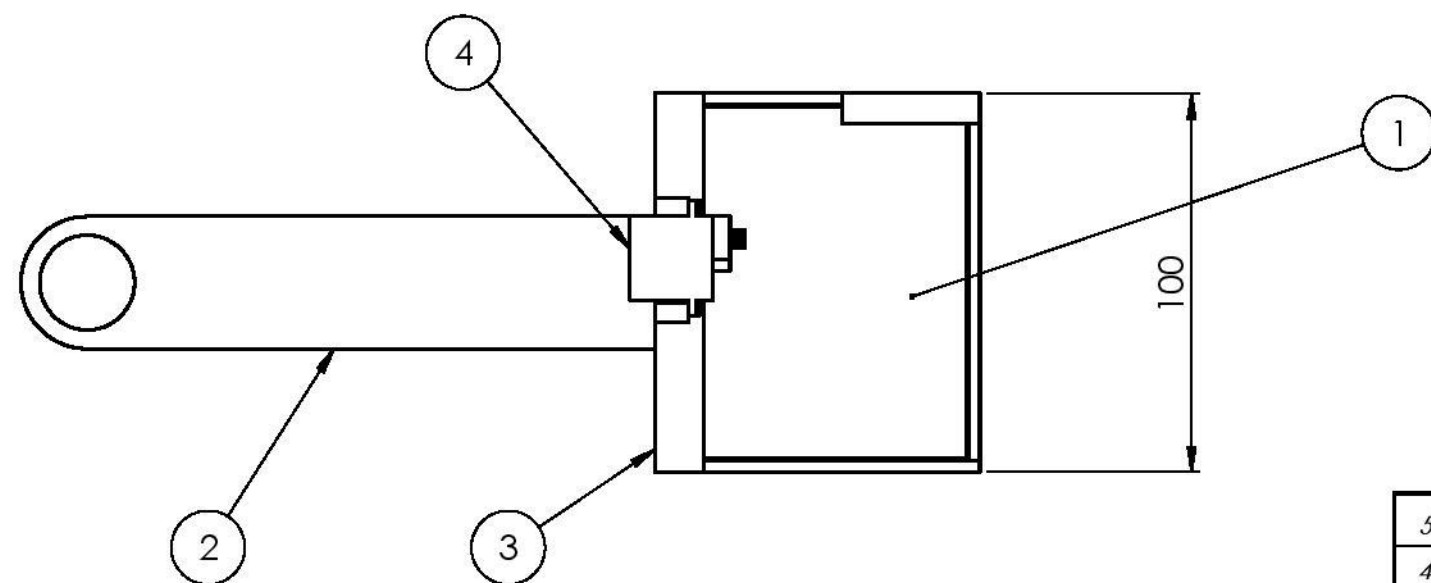
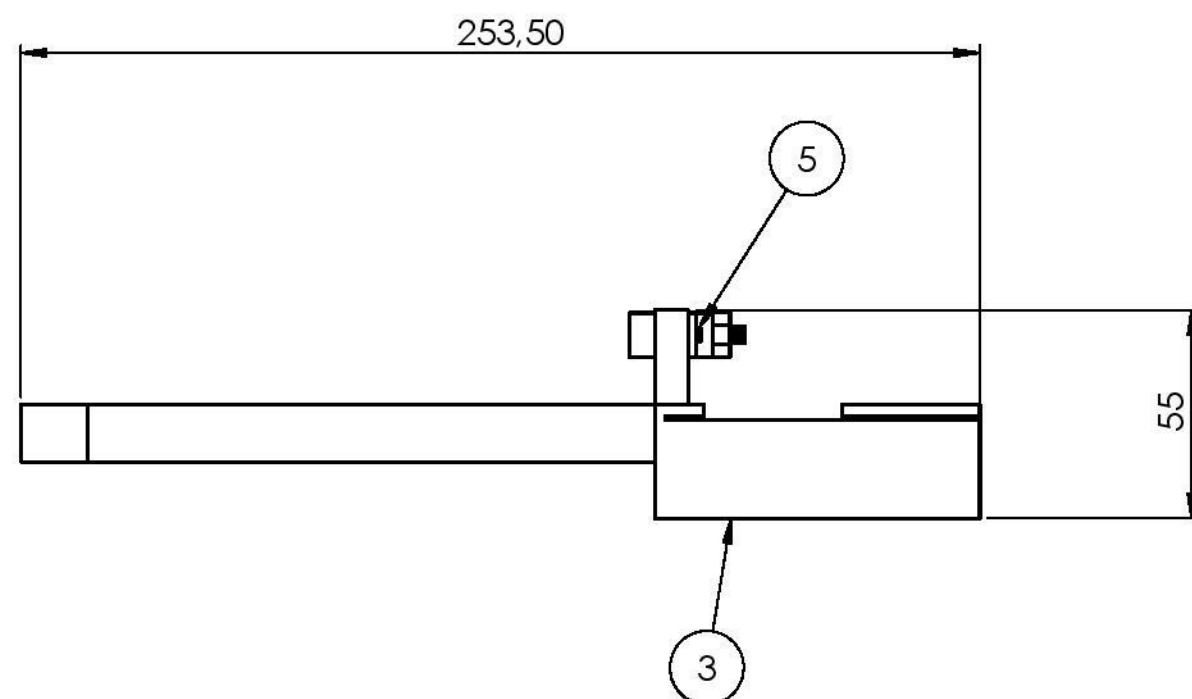
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	<p>Materjal:</p> <p>Akrüünitrillbutadieenstüreen</p>	<p>Näitamata piirhálbed:</p> <p>ISO 2768 - C</p>	<p>Mass:</p> <p>0,21 kg</p>	<p>Mööd:</p> <p>1:2</p>
<p>Teostas</p>	<p>Richard Org</p>	<p>Nimetus:</p> <p>Aluse jalg samm-mootorile</p>		
<p>Kontrollis</p>	<p>K. Soots, E. Jõgi</p>			
<p>Kinnitas</p>	<p>K. Soots, E. Jõgi</p>			
<p>EMÜ TS-TN</p>		<p>Leht:</p> <p>30/35</p>	<p>Tähis:</p> <p>TN 18/140434 A 07 03 D</p>	

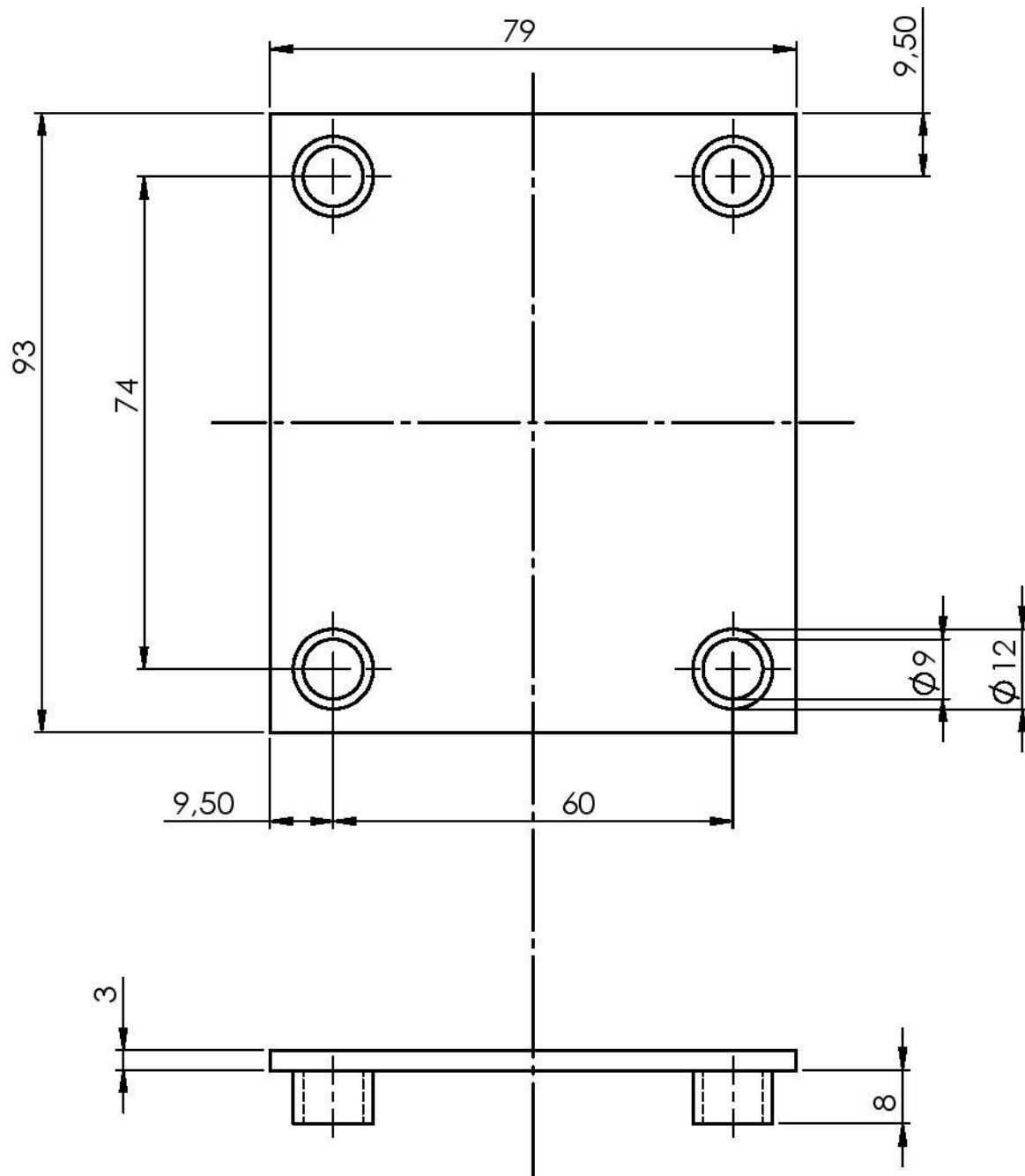


Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüültriitributadikeenstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,26 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Aluse jalg PCB-le		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 31/35	Tähis: TN 18/140434 A 07 04 D	

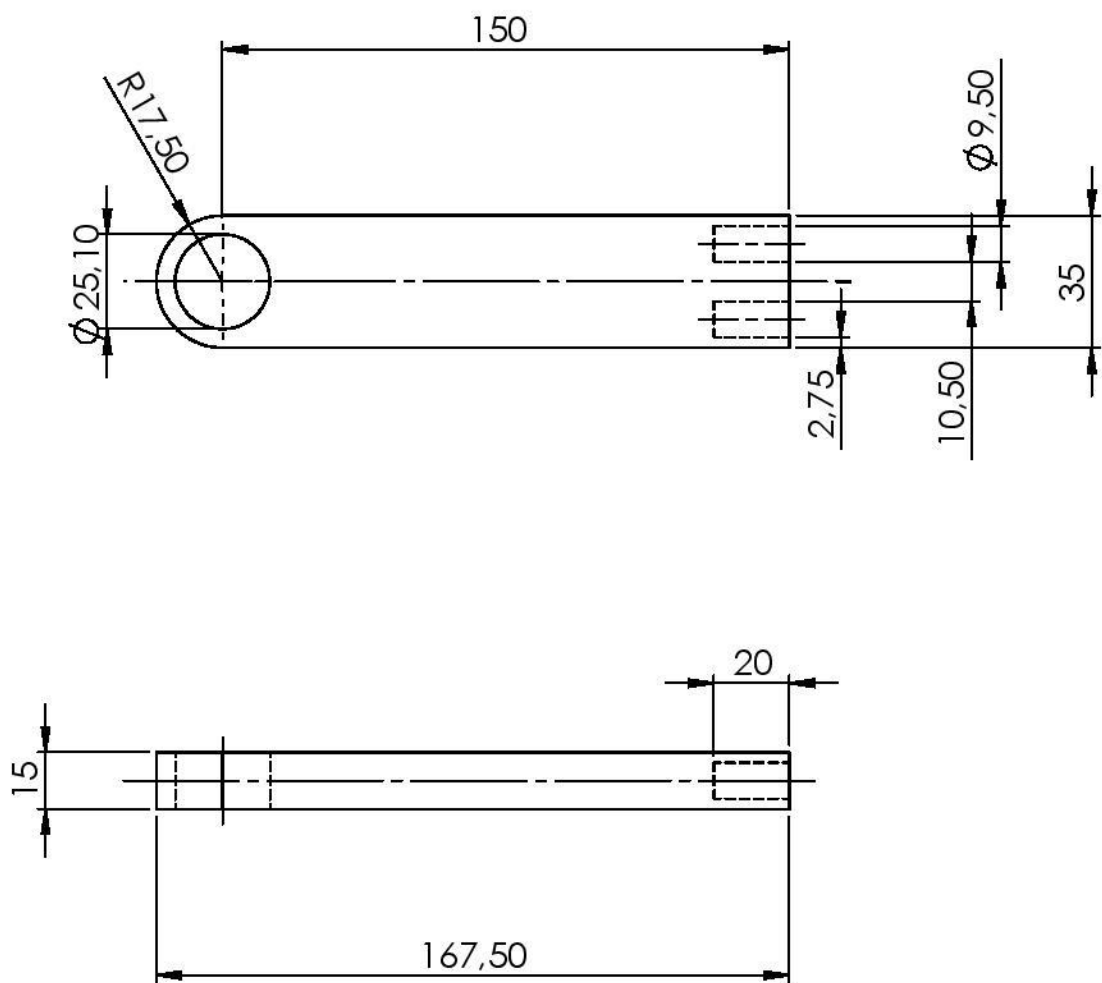


5		Metallkruvi M2x5	DIN 7985	2	
4		Servomootor SG90		1	
3		Kaarditasku korpus	TN 18/140434 A 08 03 D	1	
2		Kaarditasku jalg	TN 18/140434 A 08 02 D	1	
1		Kaarditasku plaat	TN 18/140434 A 08 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,2 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org		Kaarditasku koostejoonis		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi				
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi				
EMÜ TS-TN			Leht: 32/35	Tähis: TN 18/140434 A 08 00 K	



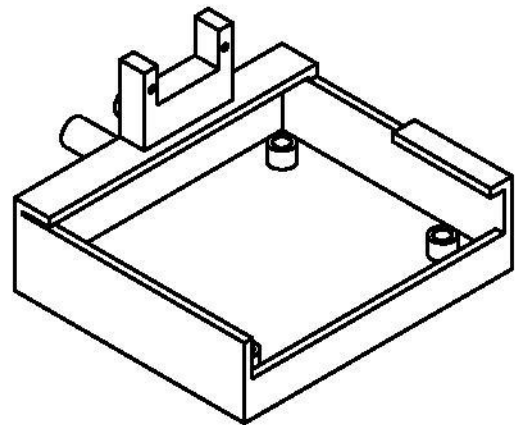
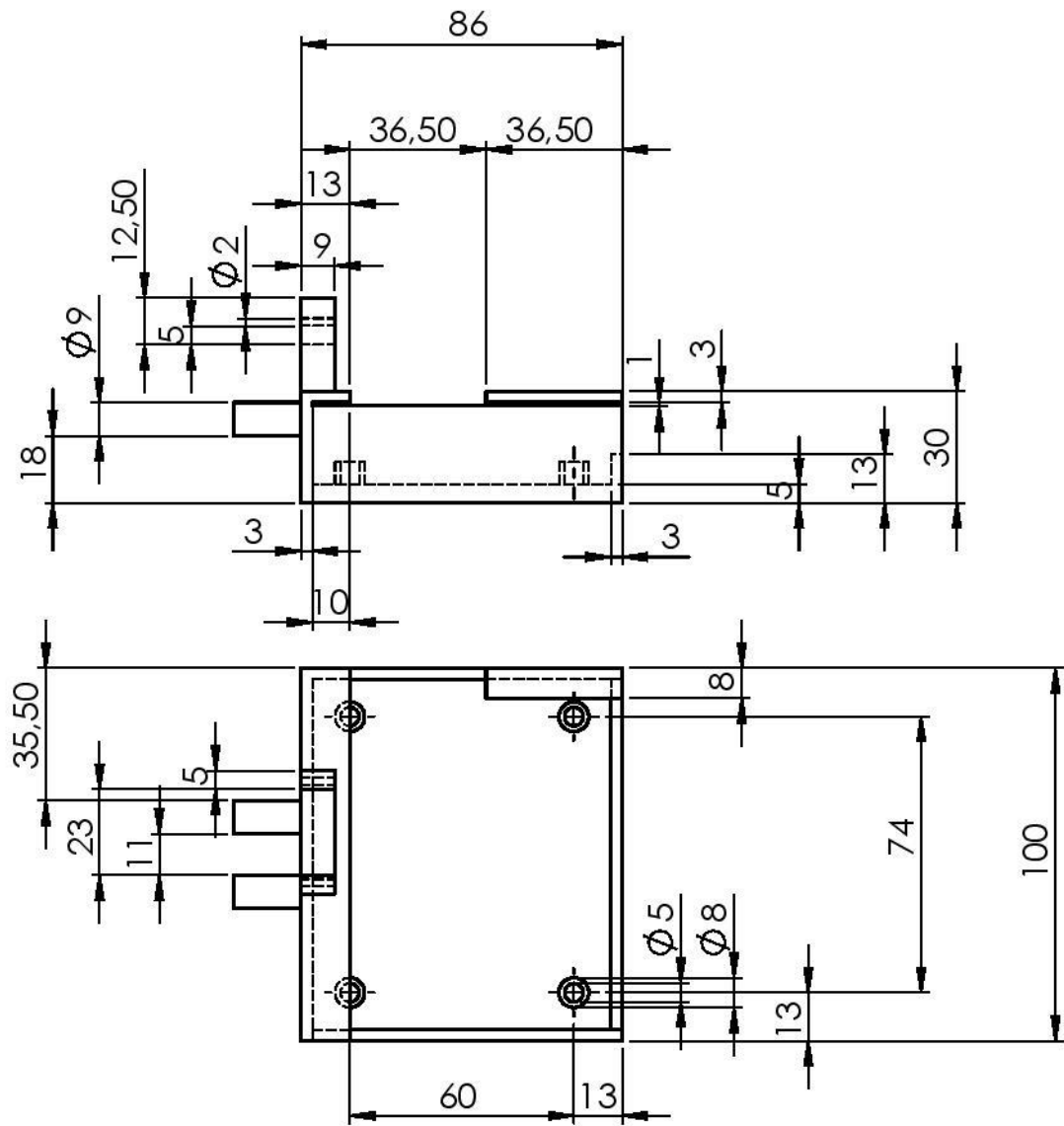
Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

	Materjal: Akrüültriilbutadienstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - m	Mass: 0,02 kg	Mööõt: 1:1
Teostas	Richard Org	Nimetus: Kaarditasku plaat		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 33/35	Tähis: TN 18/140434 A 08 01 D	



Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

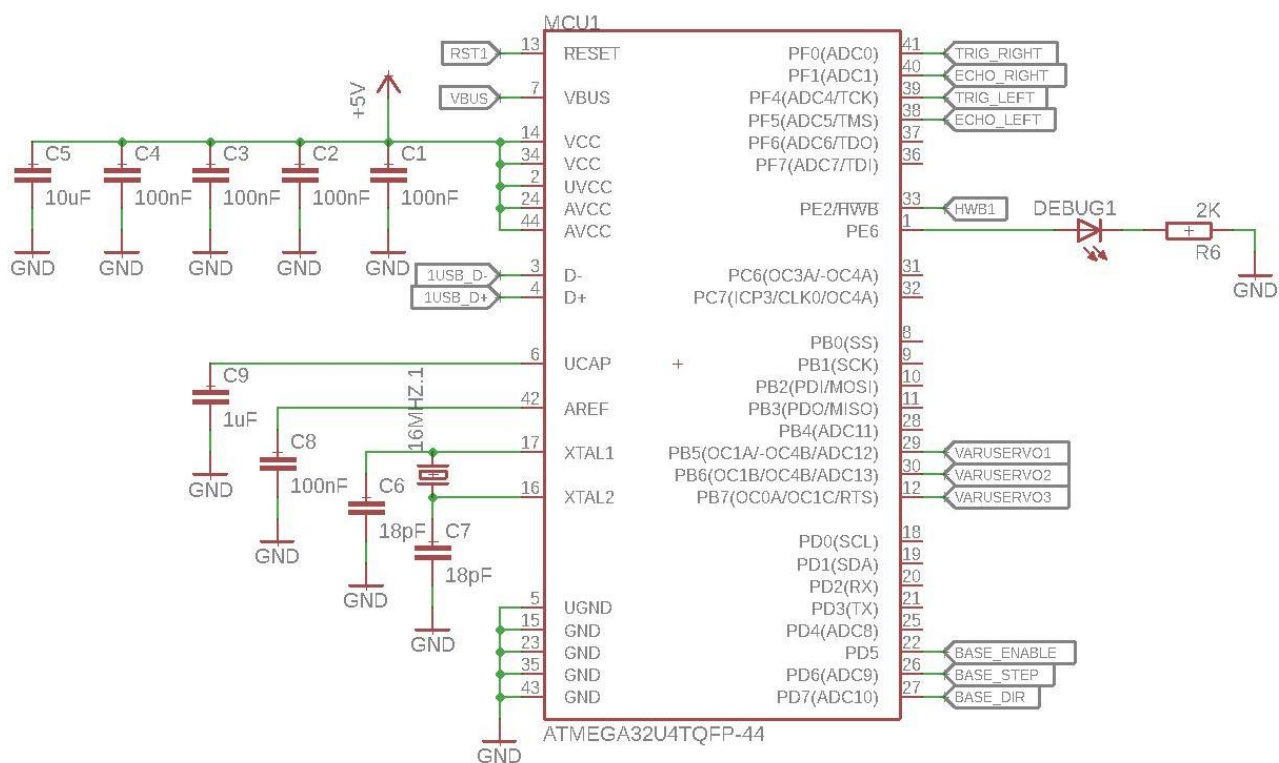
	Materjal: Akrüülnitrilbutadienstüreen	Näitamata piirhálbed: ISO 2768 - C	Mass: 0,08 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Kaarditasku jalg		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 34/35	Tähis: TN 18/140434 A 08 02 D	



Valmistamistehnoloogia: 3D printimine FFF/FDM tehnoloogiaga

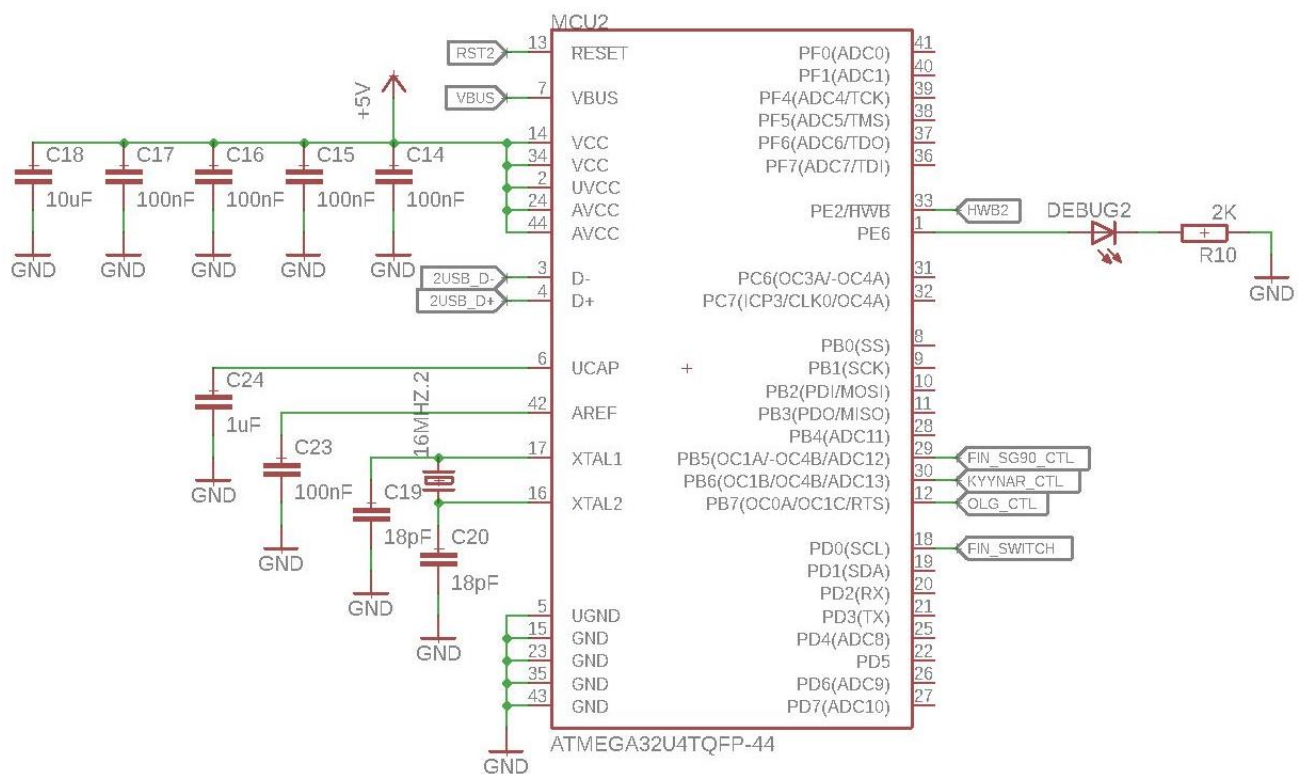
	Materjal: Akrüühitriilbutadienstüreen	Näitamata pühälbed: ISO 2768 - m	Mass: 0,08 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Richard Org	Nimetus: Kaarditasku korpus		
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi			
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi			
EMÜ TS-TN		Leht: 35/35	Tähis: TN 18/140434 A 08 03 D	

LISA B



Teostas	Richard Org	Nimetus:	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 1/7	Tähis: TN 18/140434 B 01 00 S

Atmega32U4 (MCU1) ühenduste
põhimõtteline skeem



Teostas

Richard Org

Kontrollis

K. Soots, E. Jõgi

Kinnitas

K. Soots, E. Jõgi

Nimetus:

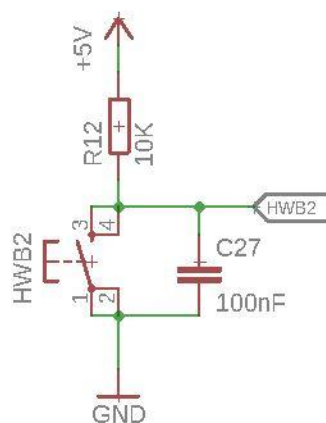
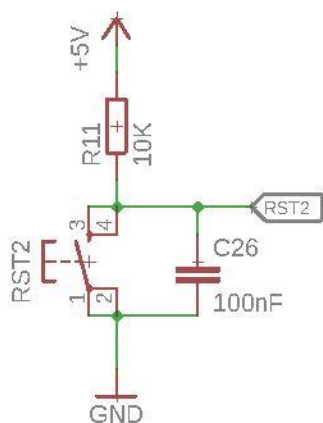
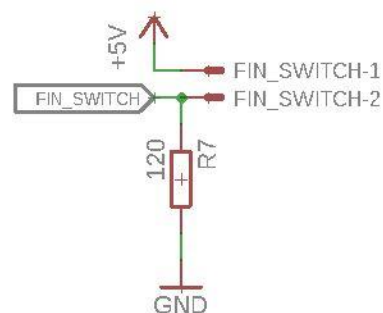
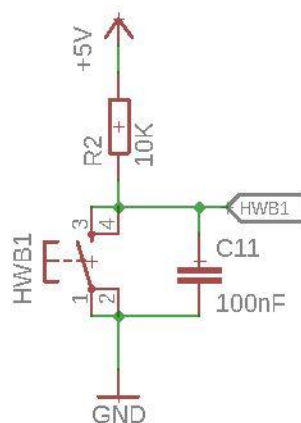
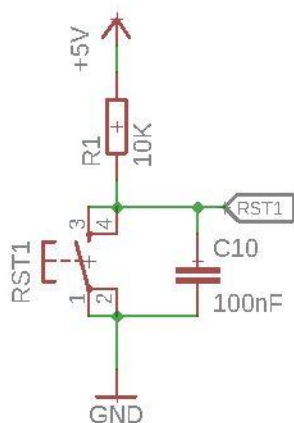
Atmega32U4 (MCU2) ühenduste
põhimõtteline skeem

EMÜ TS-TN

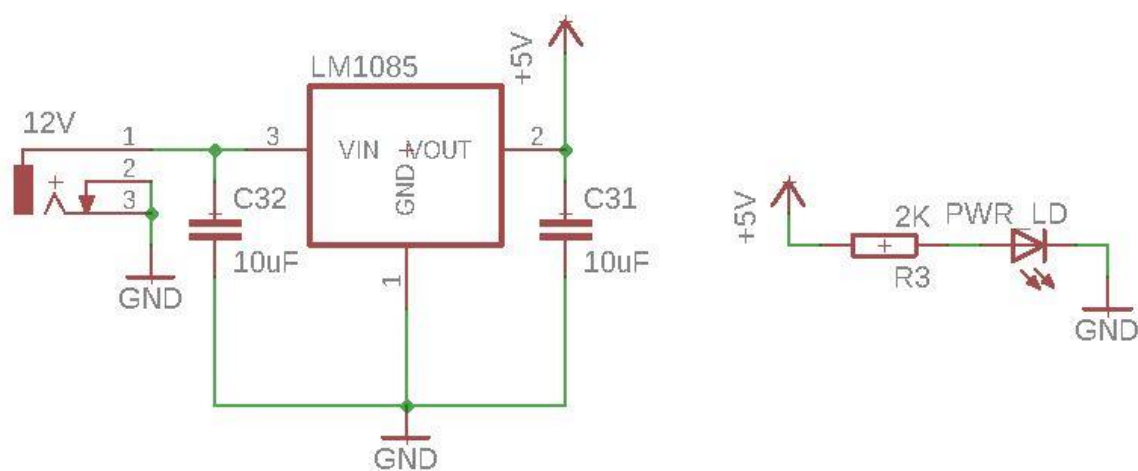
Leht:
2/7

Tähis:

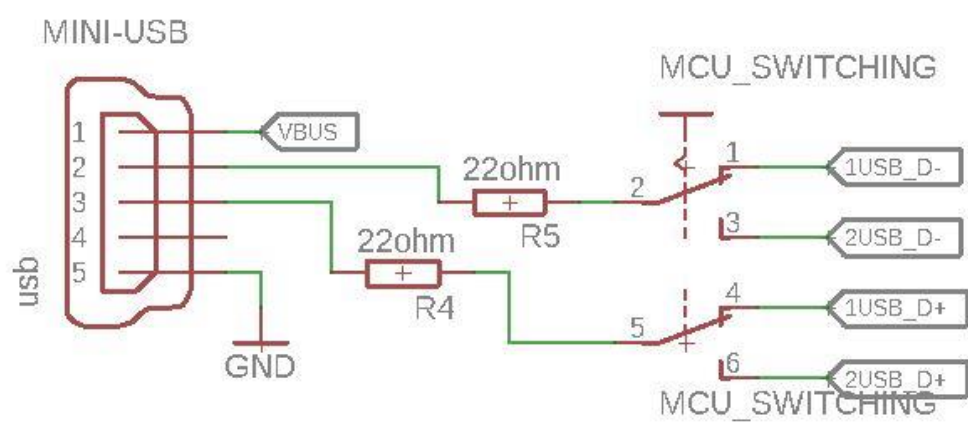
TN 18/140434 B 02 00 S



Teostas	Richard Org	Nimetus: Protsektorite taaskäivituslüliti, riistavara programmeerimislüliti ja kaardituvastuslüliti skeem	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 3/7	Tähis: TN 18/140434 B 03 00 S

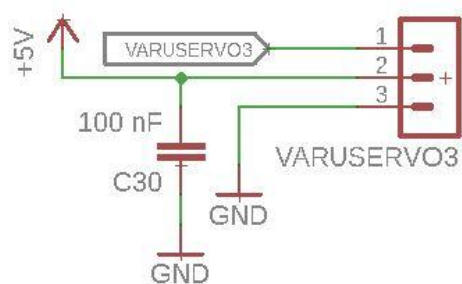
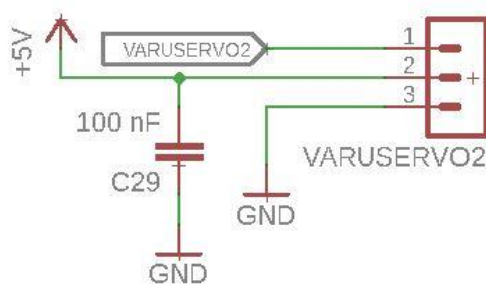
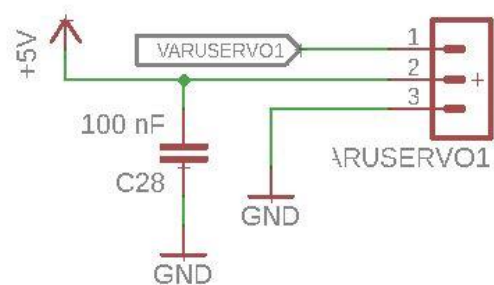
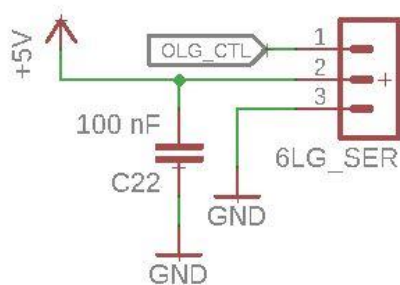
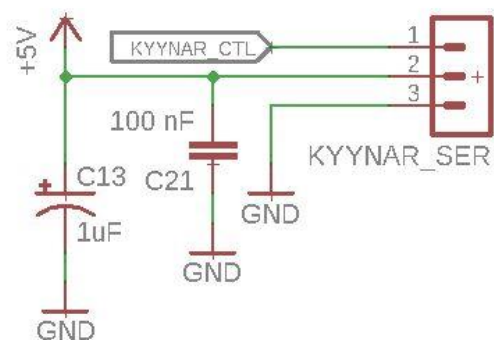
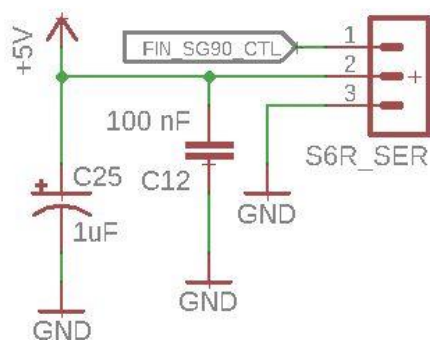


Teostas	Richard Org	Nimetus:	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 4/7	Tähis: TN 18/I40434 B 04 00 S



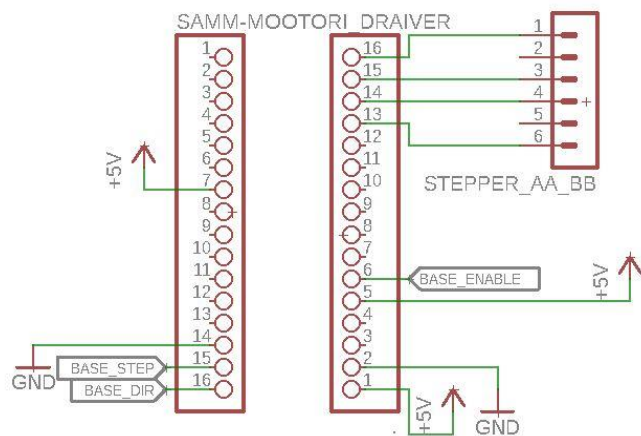
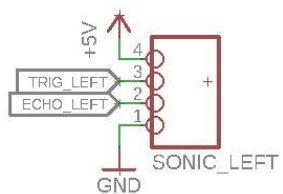
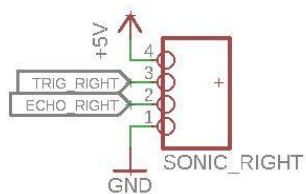
Teostas	Richard Org	Nimetus:	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 5/7	Tähis: TN 18/140434 B 05 00 S

USB ühenduse
skeem



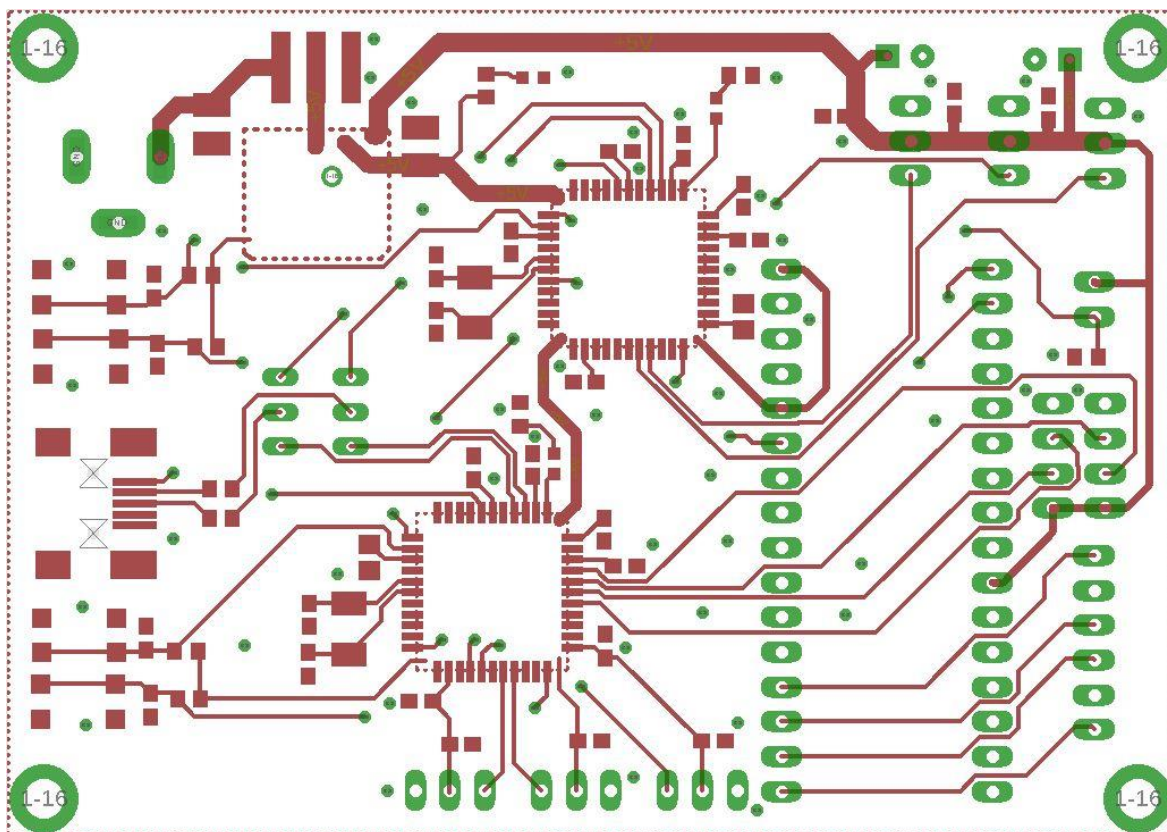
Teostas	Richard Org	Nimetus:	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 6/7	Tähis: TN 18/140434 B 06 00 S

Servomootorite
ühenduste skeem



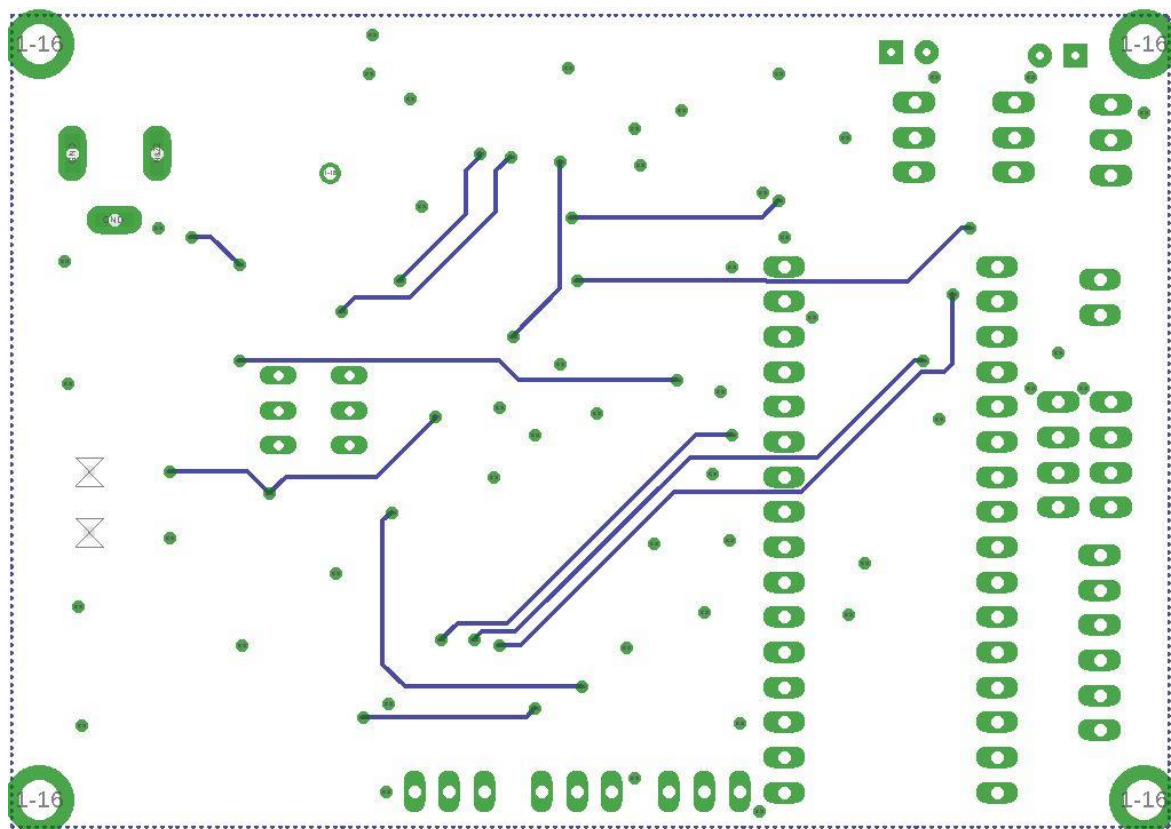
Teostas	Richard Org	Nimetus: Ultraheliandurite ja samm-mootori draiveri ühenduste skeem	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 7/7	Tähis: TN 18/140434 B 07 00 S

LISA C



Trükkplaadi mõõtmed: 60 x 85 mm

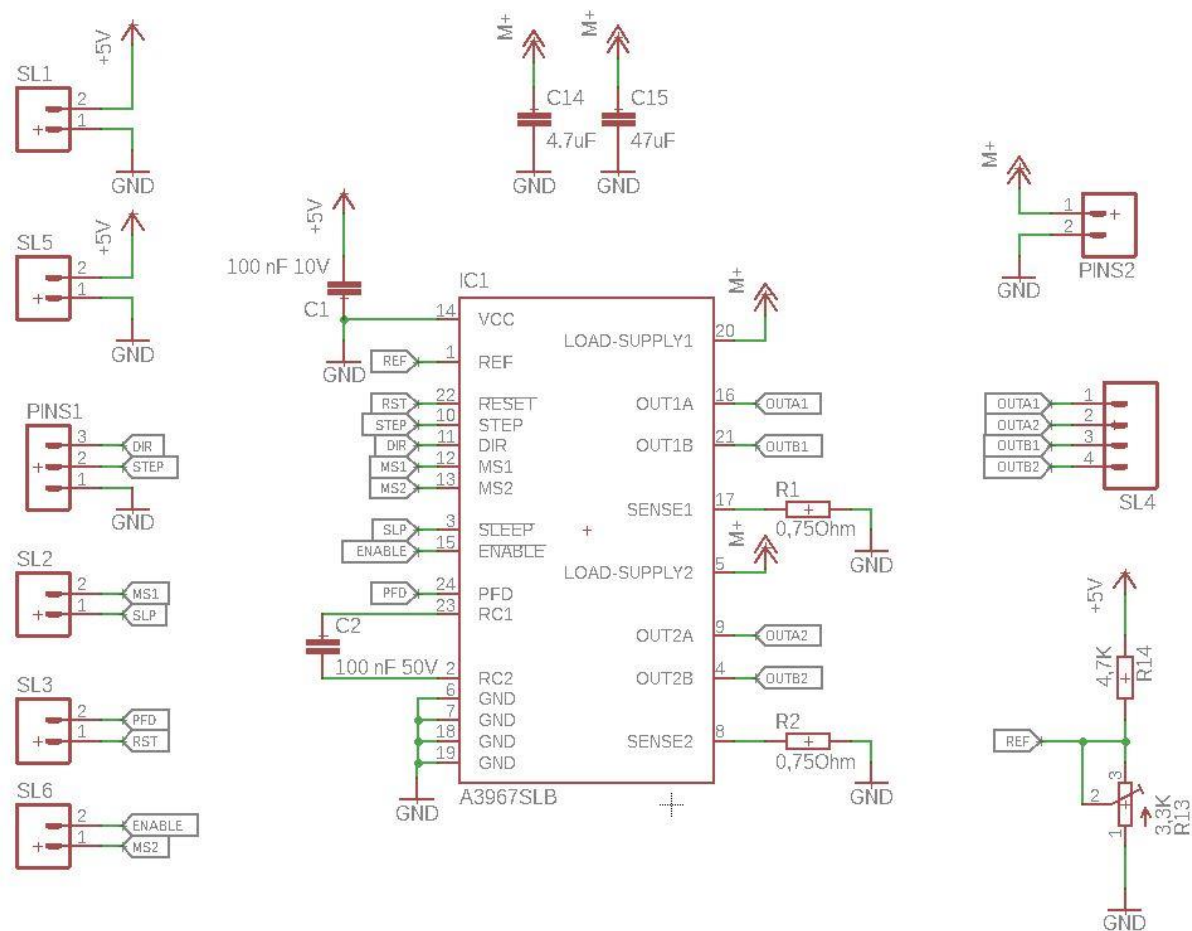
Teostas	Richard Org	Nimetus: PCB pealmise kihi ühenduste skeem	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 1/2	Tähis: TN 18/140434 C 01 00 S



Trükkplaadi mõõtmed: 60 x 85 mm

Teostas	Richard Org	Nimetus: PCB alumise kihi ühenduste skeem	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 2/2	Tähis: TN 18/140434 C 02 00 S

LISA D



Teostas	Richard Org	Nimetus: Samm-mootori draiveri skeem	
Kontrollis	K. Soots, E. Jõgi		
Kinnitas	K. Soots, E. Jõgi		
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 18/140434 D 01 00 S

LISA E

Lisa E. *MCU1* programm

```
#define F_CPU 2000000UL //ajaühiku MCU sisese taktkivi järgi määramine
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

long kestvusP; //abimuutuja kauguse arvutamiseks paremal
int kaugusP; //abimuutuja kauguse määramiseks paremal

long kestvusV; //abimuutjua kauguse arvutamiseks vasakul
int kaugusV; //abimuutuja kauguse määramiseks vasakul

void Pins_Define() //viikude defineerimise funktsioon
{
    DDRD |= (1<<PD5 | 1<<PD6 | 1<<PD7); //PD5 = base_enable, PD6 = base_step,
                                         //PD7 = base_dir (samm-mootorile)
    DDRE |= (1<<PE6); //debug led väljund
    PORTD = (0<<PD5); //Base_enable pin väärtus nulli
    PORTD = (0<<PD6); //base_step väärtus nulli
    DDRF |= (1<<PF0) //trig_right väljundviik
    DDRF &= ~(1<<PF1) //echo_right sisendviik
    DDRF |= (1<<PF4) //trig_left väljundviik
    DDRF &= ~(1<<PF5) //echo_left sisendviik
}

void Step_pulse_right() //päripäeva keeramise funktsioon
{
    int i = 0; //abimuutuja
    PORTD = (1<<PD7); //base_dir väärtus kõrgeks (keerab päripäeva)
    for(i=0;i<50;i++) //for-tsükkel, mis annab sammu käsklust 50 korda
```

Lisa E. MCU1 programm

```
        PORTD = (1<<PD6); //base_step kõrgeks = samm-mootori samm
        _delay_ms(100);      //viivitus 100 mikrosekundit
        PORTD = (0<<PD6); //base_step väärtuse nulli viimine
        _delay_ms(100);      //viivitus
        i++;                  //for-tsüklili abimuutuja väärtus kasvab 1 võrra
    }

void Step_pulse_left() //vastupäeva keeramise funktsioon
{
    int j = 0;              //abimuutuja
    PORTD = (0<<PD7); //base_dir väärtus madalaks (keerab vastupäeva)
    for(j=0;j<50;j++)      //for tsükel, mis annab sammu käsklust 50 korda
        PORTD = (1<<PD6); //base_step kõrgeks, draiverile käsklus teha samm
        _delay_ms(100);      //viivitus
        PORTD = (0<<PD6); //base_step madalaks
        _delay_ms(100);      //viivitus
        j++;                  //abimuutuja väärtuse tõus
    }

void Sonar_right()
{
    PORTF = (1<<PF0); //trig_right viigu väärtus kõrgeks 10 ms
    _delay_ms(10);
    PORTF = (0<<PF0); //trig_right väärtus alla
    kestvusP = pulseIn (PF1, 1); //loeb echo_right viigu pealt kestvust
    kaugusP = kestvusP * 0.034/2; // kauguse arvutamine
}

void Sonar_left()
{
    PORTF = (1<<PF4); //trig_left viigu väärtus kõrgeks 10 ms
    _delay_ms(10);
```

Lisa E. *MCU1* programm

```
PORTF = (0<<PF4); //trig_left väärtus alla
kestvusV = pulseIn (PF5, 1); //loeb echo_left viigu pealt kestvust
kaugusV = kestvusV * 0.034/2; // kauguse arvutamine

}

int main(void) //põhistsükkel
{
    Pins_Define(); //viikude defineerimise funktsioon

    Sonar_right(); //mõõdab nii vasakult kui paremalt....
    Sonar_left(); // ...inimese kaugust.

    if (kaugusV < kaugusP) //kui inimene on vasakul, siis keerab vasakule
        Step_pulse_left();

    else if (kaugusP < kaugusV) //kui inimene on paremal, siis keerab paremale
        Step_pulse_right();

    else if (kaugusV == kaugusP) //kui vasaku ja parema kaugused on võrdsed, siis kas
inimest ei ole...
        //...või inimene seisab otse ees
        _delay_ms(2000); //sel juhul oota 2 sekundit ja kontrolli uuesti.

}
```

Lisa E. *MCU2* programm

```
#define F_CPU 2000000UL //ajaühiku määramine MCU sisese taktkivi suhtes
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

void Pins_Define() //viikude määramise funktsioon
{
    DDRE = (1<<PE6);
    TCCR1A|=(1<<COM1A1)|(1<<COM1B1)|(1<<WGM11); //PWM
                                                    //konfigureerimine
    TCCR1B|=(1<<WGM13)|(1<<WGM12)|(1<<CS11)|(1<<CS10);
                                                    //prescaler väärtus 64

    ICR1 = 624;
    DDRB |= (1<<PB5); //määrab PB5 viigu väljundiks (haaratsi servo)
    DDRB |= (1<<PB6); //määrab PB6 viigu väljundiks (küünar servo)
    DDRB |= (1<<PB7); //määrab PB7 viigu väljundiks (õla sevo)
    DDRD &= ~(1<<PD0); //määrab PD0 viigu sisendiks (näppude lüliti)
}

int main(void)
{
    Pins_Define(); //defineerib viigud
    while(1) //töötab püsivalt (lõputult)
    {
        if(!(PIND & (1<<PD0))) //siis kui kaart on võetud
        {
            PORTE = (1<<PE6); //kontroll led
            _delay_ms(200); //viivitus et liigendid ei tõmbleks nii palju
            OCR1A = 16; //avab haaratsi näpud
            _delay_ms(500); //viivitus, et korraga ei rakenduks liiga suur võimsus
        }
    }
}
```

Lisa E. MCU2 programm

```
OCR1B = 16; //küünar tuleb alla asendisse
_delay_ms(1000);
OCR1C = 16; //õlg tuleb alla asendisse
_delay_ms(1000);
OCR1A = 54; //sulgeb haaratsi
}
else //kui kaart on haaratsi vahel
{
    PORTE = (0<<PE6); //kontroll led kustu
    _delay_ms(100); //et ei tõmbleks nii palju
    OCR1B = 64 ; //küünar sirutub välja
    _delay_ms(1000);
    OCR1C = 62; //õlg sirutub välja
}
}
}
```

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)